

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**LARISSA ROSSI GEHLEN**

**EFEITO DA UTILIZAÇÃO DE FIBRAS  
LIGNOCELULÓSICAS (AÇAÍ E CURAUÁ) EM  
COMPÓSITOS COM MATRIZ DE RESINA POLIÉSTER  
INSATURADO**

**CURITIBA**

**2014**

**LARISSA ROSSI GEHLEN**

**EFEITO DA UTILIZAÇÃO DE FIBRAS  
LIGNOCELULÓSICAS (AÇAÍ E CURAUÁ) EM  
COMPÓSITOS COM MATRIZ DE RESINA POLIÉSTER  
INSATURADO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre. Área de concentração: Engenharia e Ciência dos Materiais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais – PIPE. Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Thais Helena Demétrio Sydenstricker Flores – Sahagun

Coorientadora: Dra. Ana Paula Testa Pezzin

**CURITIBA**

**2014**

Gehlen, Larissa Rossi

Efeito da utilização de fibras lignocelulósicas (açaí e curauá) em compósitos com matriz de resina poliéster insaturado / Larissa Rossi Gehlen. – Curitiba, 2014.

104 f. : il.; grafs., tabs.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais - PIPE.

Orientadora: Thais Helena Demétrio Sydenstricker Flores-Sahagun

Coorientadora: Ana Paula Testa Pezzin

1. Compostos poliméricos. 2. Fibras. 3. Materiais compostos. I. Flores-Sahagun, Thais Helena Demétrio Sydenstricker. II. Pezzin, Ana Paula Testa. III. Título.

CDD: 620.197

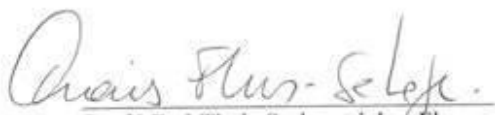



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais- PIPE  
Setor de Tecnologia

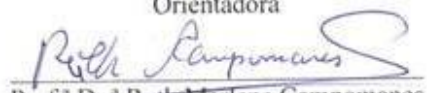
### RELATÓRIO DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

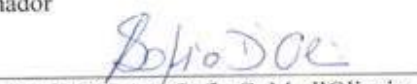
Aos trinta dias do mês de maio de 2014, na Sala de Defesas do PGMEC - no Centro Politécnico - UFPR, foi instalada pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Sofia Climaco Monteiro de Oliveira, coordenadora do PIPE – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, a Banca Examinadora para a ducentésima septuagésima terceira defesa de dissertação de mestrado na área de concentração: Engenharia e Ciência dos Materiais. Estiveram presentes no ato, além do coordenador do Curso de Pós-Graduação, professores, alunos e visitantes. A Banca Examinadora, atendendo a determinação do colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais, foi constituída pelos professores doutores: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Thais Sydenstricker Flores-Sahagun (UFPR), Carlos Mauricio Lepienski (UFPR), Ruth Marlene Campomanes Santana (UFRGS). Às 13:30 horas, a banca iniciou os trabalhos, convidando a candidata **LARISSA ROSSI GEHLEN** a fazer a apresentação da dissertação de mestrado intitulada **“EFEITO DA UTILIZAÇÃO FIBRAS LIGNOCELULÓSICAS (AÇAÍ E CURUÁ) EM COMPÓSITOS COM MATRIZ DE RESINA POLIÉSTER INSATURADO”**. Encerrada a apresentação, iniciou-se a fase de arguição pelos membros participantes. Tendo em vista a dissertação e a arguição, a banca decidiu pela APROVAÇÃO do candidato, (de acordo com a determinação dos artigos 68 e 69 da resolução 65/09 de 09.11.2009).

Curitiba, 30 de maio de 2014.

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Thais Sydenstricker Flores-  
Sahagun  
Orientadora

  
Prof. Dr. Carlos Mauricio Lepienski  
Examinador

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ruth Marlene Campomanes  
Santana  
Examinador

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Sofia C. M. d'Oliveira  
Coordenadora do PIPE

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a professora Thais Sydenstricker que me orientou no percurso todo do desenvolvimento deste trabalho. E a professora Ana Paula T. Pezzin especialmente, por ter disponibilizado toda estrutura para que esse trabalho pudesse ser realizado além de sua orientação.

Agradeço ao pessoal da Univille, às técnicas Cláudia e Michele, aos alunos de iniciação científica Elisane, Cláudio e Suelen por todo auxílio na parte experimental do trabalho e o aluno Geovani pelo auxílio nos ensaios mecânicos. Aos professores Luciano A. D. Kolowski e Giannini Apati, pelas dicas e indicações.

Especialmente agradeço o funcionário da Univille Adílson (Alemão), por todo apoio na mão de obra e pelas dicas valiosas que foram à solução em varias situações do trabalho, além do aprendizado técnico que nenhum livro poderia ensinar.

Agradeço ao professor Sérgio Pezzin e o seu aluno Jean, pela disponibilização e efetuação do ensaio de FTIR no laboratório da UDESC.

Faço também agradecimento ao pessoal da UFPR, ao aluno Lucas pela colaboração na utilização do laboratório de polímeros, ao técnico Rodrigo pelo auxílio no ensaio de razão de aspecto das fibras e a professora Marilda Munaro pelas dicas.

Agradeço as empresas Tecnofibras S.A, Alicon Agroindustrial e CEAPAC pela doação das fibras utilizadas nesse trabalho. Agradeço também ao CNPq pela bolsa de mestrado concedida.

Finalmente, a minha família e amigos por acreditarem na minha capacidade e por terem me dado apoio. Faço uma dedicação também ao meu parceiro Cléverson Sarnecki, que esteve em todo momento me ajudando e me impulsionando para o andamento desse trabalho.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o  
que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

(Marthin Luther King)

## RESUMO

A crescente necessidade do consumo de tecnologias limpas fortalece as pesquisas focadas nos materiais obtidos de fontes renováveis. As fibras lignocelulósicas apresentam inúmeras vantagens como baixa densidade, custo atrativo, serem biodegradáveis e não serem abrasivas. O presente trabalho apresenta o estudo da utilização de fibras lignocelulósicas (açai e curauá) como substituintes da comumente empregada fibra de vidro, em compósitos utilizando como matriz polimérica a resina poliéster insaturado. Com o objetivo de obter-se uma adesão satisfatória entre as fibras e a matriz, as fibras foram submetidas a tratamentos alcalinos com 5 % m/m de NaOH e com adição de 1 % m/m de NaBH<sub>4</sub> na função de agente protetor. Os compósitos foram confeccionados contendo 6,5 % de volume das fibras de açai, curauá e vidro (comparativo), sendo divididos em compósitos contendo fibras puras, *in natura*, e com os tratamentos alcalinos; e em compósitos híbridos das fibras vegetais e vidro. Com o intuito de avaliar as propriedades físicas, químicas, morfológicas, térmicas e mecânicas das fibras e dos compósitos, os ensaios como densidade, relação de aspecto, composição química, análise termogravimétrica (TGA), espectroscopia na região do infravermelho (FTIR), propriedades em tração e flexão, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e absorção de água foram realizados. Foi possível concluir nos ensaios de composição química que após os tratamentos alcalinos houve aumento na concentração de celulose e redução na concentração de hemicelulose nas fibras de açai e curauá como o esperado, já que a composição amorfa é solúvel em álcalis. Esses resultados foram compatíveis com o TGA que tanto nas fibras como nos compósitos de açai e curauá apresentaram melhor estabilidade térmica após os tratamentos alcalinos. Já nos ensaios mecânicos não houve melhoria significativa, tanto nos compósitos híbridos quanto após os tratamentos, devido às condições em que foram confeccionados e por conterem fibras curtas, o que fez com que se comportassem como cargas. Os resultados de absorção de água mostraram que os compósitos, apesar de serem reforçados com fibras vegetais, com características de hidrofiliidade, tiveram um percentual baixo de absorção de água comparado com resultados da literatura. Dessa forma conclui-se que a utilização das fibras de açai e curauá em compósitos poliméricos são viáveis, entretanto em aplicações estruturais, nas quais é necessária melhor resistência mecânica, um método diferente de confecção, utilizando fibras mais longas, alinhadas e em concentração maior é indicado.

## ABSTRACT

The growing need of the use of clean technologies strengthens research focused on materials obtained from renewable sources. Lignocellulosic fibers have many advantages such as low density, attractive cost, are biodegradable and are not abrasive. This paper presents the study of the use of lignocellulosic fibers (açai and curauá) as replacements of commonly fiberglass used in composites with polymeric matrix using unsaturated polyester resin. In order to obtain a satisfactory adhesion between the fibers and the matrix, the fibers were subjected to alkaline treatment with 5% w/w NaOH and with addition of 1% w/w NaBH<sub>4</sub> in the function of protective agent. The composites were prepared containing 6.5% volume of açai, curauá and glass fibers and is divided into composites containing pure fiber, and with alkaline treatments; and hybrid composites of fiberglass and lignocellulosic. In order to assess the physical, chemical, morphological, thermal and mechanical properties of fibers and composites, tests such as density, aspect ratio, chemical composition, thermal gravimetric analysis (TGA), infrared spectroscopy (FTIR), properties in tension and bending, scanning electron microscopy (SEM) and water absorption were performed. It was concluded from tests for chemical composition after the alkali treatment there was an increase in the percentage of cellulose and reduction of percentage hemicellulose in the açai and curauá fibers as expected, since the amorphous composition is soluble in alkalis. These results were consistent with the TGA that both the fibers in composites as açai and curauá showed better thermal stability after the alkali treatment. Already in mechanical tests there was no significant improvement in both hybrid composites and after the treatments due to the condition in which they were made and they contain short fibers, which made them behave like loads. The results of water absorption of the composites showed that, despite being reinforced with vegetable fibers, with hydrophilicity characteristics, had a low percentage of water absorption compared with the literature. Thus it is concluded that the use of the açai and curauá fibers in polymer composites are viable, but in structural applications where strength is required, a different method of preparation, using longer and aligned fibers with higher concentration is indicated.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

QUADRO 1 – Amostras de compósitos que foram estudados e suas respectivas siglas ..	40
FIGURA 1. Classificação dos materiais compósitos. ....	20
FIGURA 2. Estrutura molecular da resina poliéster ortoftálica . ....	23
FIGURA 3. Estrutura molecular da resina poliéster isoftálica . ....	23
FIGURA 4. Processo de fabricação de fibras de vidro . ....	24
FIGURA 5. Estrutura da biomassa lignocelulósica . ....	27
FIGURA 6. Estrutura celular das fibras vegetais . ....	28
FIGURA 7. Representação da estrutura molecular da celulose . ....	28
FIGURA 8. Representação da estrutura molecular da hemicelulose . ....	29
FIGURA 9. Representação da estrutura molecular da lignina . ....	30
FIGURA 10. a) Curauá roxo b) Curauá branco. ....	31
FIGURA 11. a) Palmeira Euterpe edulis b) Mesocarpo do açaí recoberto por fibras ....	32
FIGURA 12. Representação de uma despoldadeira convencional para frutos de açaí .	34
FIGURA 13. Hidrólise básica da lignina . ....	36
Figura 14. Mecanismos da reação de <i>peeling</i> e <i>stopping</i> . ....	38
Figura 15. Mecanismo de redução do grupo aldeído pelo NaBH <sub>4</sub> . ....	39
FIGURA 16 – Fibras de curauá e açaí. (a) fibras longas de curauá. (b) fibras picadas de curauá e (c) e (d) fibras de açaí após o pré-tratamento. ....	42
FIGURA 17 - Ensaio de teor de cinzas. (a) Mufla. (b) cadinhos com cinzas. ....	45
FIGURA 18 – Mantas de fibras secas. ....	49
FIGURA 19 – Molde de aço com o compósito antes da cura. ....	49
FIGURA 20 – Molde de aço sendo prensado com o compósito. ....	50
FIGURA 21 - EMIC - modelo DL 10000/700 . ....	52
FIGURA 22 – Espectro FTIR das fibras de açaí . ....	59
FIGURA 23 – Espectro FTIR das fibras de curauá. ....	60
FIGURA 24 – Curvas termogravimétricas das fibras de açaí <i>in natura</i> e alcalinizadas	62
FIGURA 25 – Curvas termogravimétricas das fibras de curauá <i>in natura</i> e alcalinizadas	64
FIGURA 26 – Curvas de TG da resina poliéster (R) e do compósito de fibra de vidro (RV). ....	65

FIGURA 27 – Curvas de DTG da resina poliéster (R) e do compósito de fibra de vidro (RV).....	66
FIGURA 28 – Curvas de TG dos compósitos reforçados com fibras de açaí <i>in natura</i> e tratadas (RA, RAH e RAHB) .....	66
FIGURA 29 – Curvas de DTG dos compósitos reforçados com fibras de açaí <i>in natura</i> e tratadas (RA, RAH e RAHB) .....	67
FIGURA 30 – Curvas de TG dos compósitos reforçados com fibras de curauá <i>in natura</i> e tratadas (RC, RCH e RCHB) .....	67
FIGURA 31 – Curvas de DTG dos compósitos reforçados com fibras de curauá <i>in natura</i> e tratadas (RC, RCH e RCHB) .....	68
FIGURA 32 – Curvas de TG dos compósitos híbridos reforçados com fibras de açaí e curauá <i>in natura</i> e tratadas (RAC, RACH e RACHB) .....	68
FIGURA 33 – Curvas de DTG dos compósitos híbridos reforçados com fibras de açaí e curauá <i>in natura</i> e tratadas (RAC, RACH e RACHB) .....	69
FIGURA 34– Curvas de TG dos compósitos híbridos reforçados com fibras de vidro e açaí <i>in natura</i> e tratadas (RVA, RVAH e RVAHB).....	69
FIGURA 35– Curvas de DTG dos compósitos híbridos reforçados com fibras de vidro e açaí <i>in natura</i> e tratadas (RVA, RVAH e RVAHB).....	70
FIGURA 36– Curvas de TG dos compósitos híbridos reforçados com fibras de vidro e curauá <i>in natura</i> e tratadas (RVC, RVCH e RVCHB) .....	70
FIGURA 37– Curvas de DTG dos compósitos híbridos reforçados com fibras de vidro e curauá <i>in natura</i> e tratadas (RVC, RVCH e RVCHB) .....	71
FIGURA 38 - Resistência à tração dos compósitos .....	73
FIGURA 39 - Deformação na ruptura em tração dos compósitos .....	74
FIGURA 40 - Resistência à flexão dos compósitos .....	77
FIGURA 41 - Módulo de elasticidade em flexão dos compósitos .....	77
FIGURA 42 – Micrografia dos compósitos (a) RA, (b) RAH e (c) RAHB .....	80
FIGURA 43 – Micrografias dos compósitos (a) e (b) RC, (c) RCH e (d) RCHB.....	81
FIGURA 47 - Absorção de água dos compósitos .....	85
FIGURA 48 - Gráfico de densidade dos compósitos .....	88

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Propriedades da resina poliéster insaturada ortoftálica, ENYDYNE H653 TA, da CCP – Composites do Brasil. ....	41
TABELA 2 – Densidade aparente das fibras de açai e curauá.....	54
TABELA 3 – Medidas de diâmetro, comprimento e razão de aspecto das fibras de açai, curauá e vidro .....	55
TABELA 4 – Caracterização química das fibras de açai (média/desvio padrão) .....	56
TABELA 5 – Caracterização química das fibras de curauá (média/desvio padrão) .....	58
TABELA 6 – Bandas e atribuições das fibras de açai e curauá .....	61
TABELA 7 – Temperatura de degradação (°C), temperatura máxima de degradação (°C), perda de massa (%) e resíduos (%) das fibras de açai .....	63
TABELA 8 – Temperatura de degradação (°C), temperatura máxima de degradação (°C), perda de massa (%) e resíduos (%) das fibras de curauá.....	64
TABELA 9 – Temperatura de degradação (°C), temperatura máxima de degradação (°C), perda de massa (%) e resíduos (%) da resina e dos compósitos.....	71
TABELA 10 – Propriedades em tração dos compósitos: resistência à tração (MPa) e deformação na ruptura (%) .....	74
TABELA 11 – Propriedades em flexão dos compósitos: resistência à flexão (MPa), deformação na ruptura (mm) e módulo de elasticidade (MPa) .....	78
TABELA 12 – Dados de absorção de água dos compósitos (%) .....	86
TABELA 13 – Dados de densidade dos compósitos (g/cm <sup>3</sup> ).....	89

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Apud	“junto a”
C-1	Primeiro carbono da cadeia
C-2	Segundo carbono da cadeia
C-3	Terceiro carbono da cadeia
CEAPAC	Centro de Apoio a Projetos de Ação Comunitária
FDA	Solução de fibra detergente ácida
FDN	Solução de fibra detergente neutra
FTIR	Espectroscopia na região do infravermelho
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia
MEK-P	Peróxido de metil etil cetona
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
NaBH <sub>4</sub>	Borohidreto de sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
TGA	Termogravimetria
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
UFPR	Universidade Federal do Paraná

## LISTA DE SÍMBOLOS

$V$	volume
$m$	massa
$\rho$	densidade
$D$	diâmetro
$L$	comprimento
$U$	teor de umidade em porcentagem
$m_s$	massa seca
$m_u$	massa umida
$C$	teor de cinzas em porcentagem
$A$	massa de cinzas
$B$	massa de amostra
$\rho_c$	densidade do compósito
$M_s$	massa de amostra
$V_w$	volume de deslocamento da água

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	16
1.1 OBJETIVO GERAL.....	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	19
2.1 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS .....	19
2.2 RESINA POLIÉSTER INSATURADO.....	21
2.3 FIBRA DE VIDRO .....	24
2.4 FIBRAS LIGNOCELULÓSICAS.....	26
2.4.1 Curauá.....	30
2.4.2 Açaí.....	32
2.4.3 Tratamento químico de fibras lignocelulósicas .....	35
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	40
3.1 Materiais .....	41
3.2 Métodos .....	42
3.2.1 Pré-tratamento das fibras lignocelulósicas .....	42
3.2.2 Tratamento químico das fibras lignocelulósicas .....	43
3.2.3 Determinação da densidade das fibras lignocelulósicas .....	43
3.2.4 Determinação da razão de aspecto das fibras lignocelulósicas .....	44
3.2.5 Caracterização química das fibras lignocelulósicas .....	44
3.2.5.1 Teor de umidade .....	44
3.2.5.2 Teor de cinzas.....	45
3.2.5.3 Composição química (hemicelulose, lignina e celulose) .....	46
3.2.5.4 Espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier – FTIR das fibras lignocelulósicas .....	48
3.2.6 Caracterização térmica das fibras: análise termogravimétrica - TGA.....	48
3.2.7 Confeção das mantas de fibras.....	48
3.2.8 Confeção dos compósitos .....	49
3.2.9 Caracterização térmica dos compósitos.....	50
3.2.9.1 Análise termogravimétrica – TGA .....	50
3.2.10 Caracterização mecânica dos compósitos.....	51
3.2.10.1 Obtenção dos corpos de prova.....	51

3.2.10.2 Ensaio de resistência à tração .....	51
3.2.10.3 Ensaio de resistência à flexão .....	52
3.2.11 Caracterização morfológica: microscopia eletrônica de varredura – MEV .....	52
3.2.12 Absorção de água.....	53
3.2.13 Densidade .....	53
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>54</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS .....	54
4.1.1 Determinação da densidade aparente das fibras de açaí e curauá .....	54
4.1.2 Determinação da razão de aspecto das fibras lignocelulósicas .....	55
4.1.3 Caracterização química das fibras lignocelulósicas .....	56
4.1.3.1 Composição química .....	56
4.1.3.2 Espectroscopia na região de infravermelho – FTIR .....	59
4.1.4 Análise termogravimétrica (TGA) das fibras lignocelulósicas .....	62
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS .....	65
4.2.1 Caracterização térmica .....	65
4.2.1.1 Análise termogravimétrica – TGA .....	65
4.2.2 Caracterização mecânica .....	73
4.2.2.1 Ensaio de resistência à tração .....	73
4.2.2.2 Ensaio de resistência à flexão .....	77
4.2.3 Caracterização morfológica: Microscopia eletrônica de varredura – MEV .....	79
4.2.4 Absorção de água.....	84
4.2.5 Densidade .....	87
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>90</b>
<b>6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>92</b>
<b>7 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>93</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Na concepção de materiais compósitos, o processo deve ser otimizado aproveitando as propriedades das fibras. Nesse contexto, é importante, que a escolha do material utilizado como reforço possua características que aliem desempenho, técnica de fabricação e custo adequados ao projeto (CAPELLA *et al.*, 2012). A fibra de vidro é o material mais empregado na fabricação de compósitos, devido a apresentar propriedades de resistência mecânica, baixo custo, ser incombustível e quimicamente estável, apresentar resistência à corrosão e à umidade (BARROS, 2010; OTA, 2004). Porém, de acordo com Santos *et al.*, (2007) *apud* Yam (1996), a exposição contínua a filamentos de fibra de vidro podem provocar doenças respiratórias e pulmonares, além de aumentarem o risco de câncer. Pesquisas realizadas pelo Conselho de Defesa dos Recursos Naturais (NRDC; Washington), mostraram que o risco de câncer associado à manipulação de fibra de vidro é semelhante ao ocasionado pelo amianto.

Desse modo, pesquisas relacionadas às fibras oriundas de fontes vegetais vêm crescendo abruptamente nos últimos anos e isso se justifica, pois além do fato de serem biodegradáveis e provenientes de fontes renováveis, podem ser aplicadas em diversos segmentos da indústria. A produção de fibras vegetais ocorre praticamente em todos os países, como cultivos agrícolas, produzida espontaneamente na natureza ou como resíduos gerados na agroindústria, estando o Brasil em destaque devido à sua biomassa abundante e por possuir uma das maiores extensões territoriais cultiváveis (FRANCO, 2010; SILVA *et al.*, 2009).

A utilização de fibras lignocelulósicas como reforço de materiais compósitos poliméricos é uma alternativa para a substituição ou redução do uso de fibra de vidro. Fibras lignocelulósicas apresentam baixa densidade, aparência diferenciada e esteticamente interessante quando parte de um material compósito, são menos abrasivas do que as fibras sintéticas, provocando assim, menor depreciação em equipamentos convencionais de processamento de polímeros. (SANTOS *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2009).

O curauá (*Ananas erectofolius*) é uma planta cultivada na região Amazônica, nas proximidades de Santarém e Belém do Pará, e sua fibra tem como característica possuir leveza e resistência mecânica superior a outras fibras vegetais, sendo da mesma ordem



de grandeza da fibra de vidro e possibilitando inúmeras aplicações na indústria. Entre os benefícios do cultivo do curauá, além do fácil processamento e a possibilidade de ser feito em consórcio com outras plantações em áreas de reflorestamento, é que este é uma importante fonte de renda e emprego em regiões mais carentes, provendo assim, uma oportunidade para famílias e pequenos agricultores (ARAÚJO, 2009; CORDEIRO *et al.*, 2009; SILVA, 2010; SILVA e AQUINO, 2008).

O açaí é um fruto proveniente da palmeira (*Euterpe oleracea* e *Euterpe precatória* na região amazônica e *Euterpe edulis* na mata atlântica), sua produção é abundante na região norte do Brasil, onde uma grande quantidade de resíduos é gerada. O comportamento térmico apresentado pelas fibras do mesocarpo do açaí é semelhante ao das principais fibras naturais já utilizadas industrialmente, além de possuírem superfícies irregulares que contribuem para uma boa interação com uma matriz polimérica se forem utilizadas como reforço, gerando assim perspectivas para sua utilização no desenvolvimento de novos materiais compósitos (MARANHO e PAIVA, 2012; ILLENSEER e PAULILO, 2002).

Em virtude de suas características estruturais, as fibras lignocelulósicas apresentam caráter hidrofílico e consequentemente, incompatibilidade com a maioria das matrizes poliméricas. Para solucionar esse problema diversos tratamentos físicos e químicos são aplicados nas fibras vegetais, entre eles o tratamento alcalino com hidróxido de sódio que é normalmente eficiente e de baixo custo. Porém, esse tratamento apresenta elevada agressividade que pode influenciar negativamente nas propriedades mecânicas e térmicas da fibra (KABIR *et al.*, 2012; MERLINI *et al.*, 2012). Uma alternativa proposta por Moraes (2010) é a utilização do borohidreto de sódio como agente protetor das fibras. Em seus ensaios com fibras de sisal, ele obteve resultados positivos em relação à diminuição dos efeitos agressivos do tratamento alcalino.

Considerando que ainda há poucos estudos aprofundados referentes às fibras de açaí e curauá na literatura, este trabalho aborda a utilização dessas fibras em compósitos híbridos com matriz de resina poliéster insaturado, comparando o desempenho dessas fibras com a fibra de vidro. O tratamento alcalino associado ao agente protetor borohidreto de sódio ( $\text{NaBH}_4$ ) é efetuado nas fibras de açaí e curauá com o intuito de verificar a possível reaplicabilidade do método proposto por Moraes em 2010 com o uso de açaí e curauá.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Obter e caracterizar compósitos de matriz poliéster insaturado ortoftálico reforçados com fibras lignocelulósicas (açaí e curauá) e comparar com compósitos reforçados com fibra de vidro.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

De acordo com o proposto no objetivo geral, as seguintes etapas são propostas:

- Efetuar o tratamento alcalino utilizando 5 % de hidróxido de sódio (NaOH) nas fibras de açaí e curauá, com o intuito de melhorar a adesão a matriz polimérica.
- Realizar tratamentos alcalinos nas fibras vegetais com adição de 1% de borohidreto de sódio ( $\text{NaBH}_4$ ), de modo a testar a eficácia do agente protetor.
- Caracterizar as fibras vegetais *in natura* e com os tratamentos alcalinos (com e sem a adição do agente protetor), por meio de análises de densidade, razão de aspecto, composição química, espectroscopia da região do infravermelho (FTIR) e termogravimétrica (TGA).
- Preparar compósitos de matriz poliéster insaturado ortoftálico com reforços puros e híbridos contendo 6,5 % v/v de fibras curtas (açaí, curauá e vidro e seus respectivos tratamentos) em relação à matriz.
- Caracterizar os compósitos e a resina pura através de ensaios térmicos (TGA), mecânicos (resistência à tração e flexão), morfológicos (microscopia eletrônica de varredura – MEV) e físico-químicos (densidade e absorção de água).
- Avaliar o desempenho desses materiais, de modo, a verificar a possibilidade da utilização do tratamento alcalino proposto (5 % NaOH + 1 %  $\text{NaBH}_4$ ) em fibras de açaí e curauá, para a produção comercial dos compósitos híbridos estudados e comparar os resultados com os da literatura.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Os compósitos são materiais constituídos por dois ou mais componentes combinados com o intuito de formar um novo material de engenharia (estrutural), com propriedades diferentes destes elementos puros. São obtidos através de diferentes combinações entre cerâmicos, metais e polímeros (ASTM, 2001). De acordo com Hillig (2006) *apud* Tita (1999), os compósitos são formados por materiais que podem ter composição única ou variada, dispersos em uma matriz e as fibras ou partículas são denominados de reforços ou carga.

Quando os compósitos possuem mais que um tipo de reforço ou de matriz, são considerados compósitos híbridos. O objetivo dessa combinação é aliar às propriedades presentes nos diferentes componentes para atender requisitos que um componente puro não atenderia (BARROS, 2006).

A função da matriz, denominada de fase contínua, é envolver os constituintes do reforço e agregar forma à estrutura e dureza ao compósito. É responsável também pela qualidade de acabamento superficial, impermeabilidade e resistência química do material. O reforço, também conhecido como fase dispersa, possui a função de absorver cargas mecânicas aplicadas, prover a rigidez e a resistência mecânica do compósito, entretanto esse comportamento não ocorre se estiver isolado de uma matriz. Em materiais compósitos poliméricos a matriz é composta por uma resina, que pode ser proveniente de polímeros termoplásticos ou termofixos, misturada com agentes de cura e o reforço pode ser constituído por partículas, fibras e estruturas que classificam os compósitos conforme suas disposições, como apresenta a figura 1. (ABMACO, 2009; ADAMIAN, 2009).

As partículas (comumente conhecidas como cargas), anteriormente eram empregadas nos compósitos somente para substituir um dos componentes básicos, com a finalidade de diminuir o custo do produto final. No entanto, atualmente as cargas naturais que podem ter origem vegetal ou mineral, estão sendo empregadas nas indústrias como materiais complementares aos compósitos por agregarem beneficiamento das propriedades físico-químicas dos produtos. (CAMATRA, 2008).

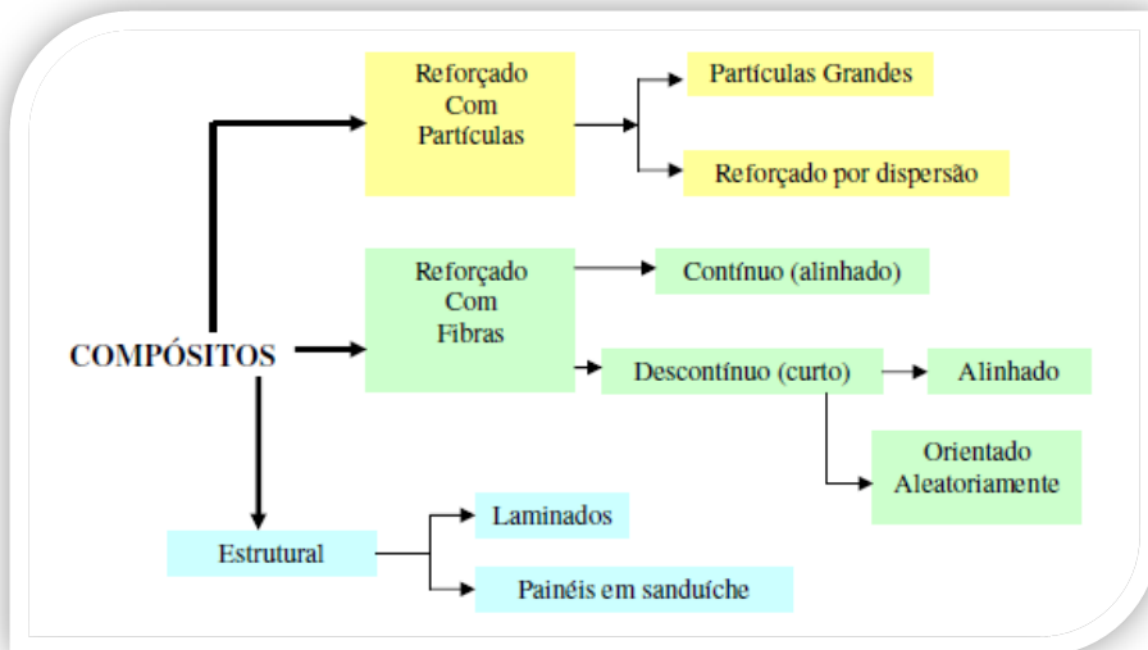


FIGURA 1. Classificação dos materiais compósitos. (MOREIRA, 2009).

A disposição das fibras, assim como sua concentração e orientação, influencia significativamente nas propriedades dos materiais compósitos. A isotropia do sistema é afetada conforme a disposição do reforço, quando este se encontra na forma de partículas, com todas as dimensões igualmente aproximadas, o comportamento do compósito é isotrópico, isto é, suas propriedades independem da direção do reforço. Já os compósitos reforçados com fibras curtas, dispostas aleatoriamente oferecem resistência em quase todas as direções do laminado, são denominados assim de quasi-isotrópicos. Entretanto, dos compósitos reforçados com fibras, os que possuem maior resistência mecânica, são os que utilizam fibras contínuas e se comportam anisotropicamente (MARINUCCI, 2011, ADAMIAN, 2009).

As fibras utilizadas como reforço em compósitos são classificadas em naturais e sintéticas. As fibras sintéticas são mais adequadas em aplicações estruturais, devido às suas maiores resistência mecânica, térmica e serem menos higroscópicas em relação às fibras naturais, sendo as principais as fibras de aramida, carbono e vidro. A fibra de vidro é a mais utilizada no mercado de compósitos estruturais, pois combinam as resistências citadas ao seu baixo custo. (NETO e PARDINI, 2006; LEITÃO, 2007) Entretanto, considerando desvantagens como o desgaste de equipamentos e os riscos a saúde de operadores no processamento da fibra de vidro, as fibras vegetais vem sendo

utilizadas em diversos segmentos que fabricam componentes que exigem carregamentos moderados (BARCELLOS et al., 2009; SILVA *et al.*, 2008).

As propriedades da matriz polimérica dependem da estrutura da resina e consequentemente do tipo de polímero que as constituem. Os polímeros termoplásticos, devido às ligações químicas secundárias (van der Waals) entre suas cadeias, são fusíveis e solúveis e podem quando fundidos ou solubilizados, retornarem ao seu estado inicial através de resfriamento ou remoção do solvente, respectivamente. Este comportamento facilita sua moldagem e reciclagem. Enquanto os polímeros termofixos apresentam ligações químicas primárias (covalente) no cruzamento entre as cadeias, estas ligações são muito fortes e dependem de uma elevada quantidade de energia para serem quebradas, o que define o polímero termofixo como um material infusível e insolúvel frente à adição de temperatura e pressão, dificultando também sua reciclagem. São exemplos desses materiais a resina éster-vinilica, a resina epóxi e a resina poliéster insaturado (ABMACO 2009, MARINUCCI, 2011).

Diversos fatores tornam os compósitos poliméricos atrativos quando comparados aos materiais de origem metálica, são mais resistentes a ataques químicos, são materiais mais leves, com resistência muitas vezes equivalente, flexibilidade de moldagem e não possuem condução elétrica e magnética. Entretanto possuem algumas desvantagens como instabilidade dimensional em virtude dos altos coeficientes de expansão térmica, dificuldade de trabalho em elevadas temperaturas e sensibilidade à radiação. Entre os diversos setores em que são empregados estão o aeronáutico, náutico, aplicações onde deve ser controlada a corrosão, saneamento, automotivo, construção civil, telecomunicação, arquitetura e decoração (ANDRADE, 2008; MARINUCCI, 2011; VENTURA, 2009).

## 2.2 RESINA POLIÉSTER INSATURADO

A resina poliéster insaturado é a mais empregada para confecção de compósitos poliméricos, isto se deve ao fato de aliar bom desempenho mecânico, boas condições de reatividade, custo mais acessível que a resina epóxi ou éster-vinilica à diversidade de formulações disponíveis para atender os requisitos exigidos em diferentes áreas de aplicações dos compósitos. (MARINUCCI, 2011)

Os poliésteres insaturados são formados pela reação de esterificação, na qual diácidos insaturados (ácido fumárico ou anidrido maleico, ácidos que retiraram água de

hidratação ligada quimicamente na molécula) e diácidos saturados (ortoftálico, isoftálico ou tereftálico) reagem com um diálcool (monoetileno glicol, propileno glicol, neo pentil glicol, etc.) gerando éster e água. Devido à reação ocorrer nas duas extremidades da cadeia, é possível ter moléculas com cadeias muito longas e obter uma infinidade de grupos ésteres ao longo desta cadeia. (ABMACO, 2009; MOREIRA, 2008; NETO e PARDINI, 2006).

Após a etapa de condensação (na reação de esterificação), ocorre a formação de uma resina sólida à temperatura ambiente, sendo necessário após essa primeira etapa a sua diluição em monômeros apropriados que são adicionados à resina e que atuam como solventes, conferindo menor viscosidade e melhor processabilidade, além de auxiliar na umectação das fibras. Devido à cura de resinas poliésteres se processarem lentamente e apresentarem baixa mobilidade, a probabilidade das reações intramoleculares ocorrerem é muito pequena. Os monômeros utilizados como solventes atuam também, como copolimerizadores da resina tornando a probabilidade das reações intramoleculares da resina serem maiores (MOREIRA, 2008; NETO e PARDINI, 2006).

Para que o arranjo tridimensional nas ligações moleculares do polímero (reação de cura) ocorra, é necessário que as insaturações presentes nos átomos de carbono sejam rompidas através de um iniciador de reação. O calor e a radiação podem ocasionar essa iniciação, entretanto a utilização de um peróxido orgânico é mais aconselhável para originar um polímero com características termoestáveis. O peróxido de metil etil cetona (MEKP) é composto por água oxigenada, dímeros e trímeros, e é dependendo da quantidade desses componentes presentes no iniciador, além de outros fatores, que o grau de polimerização e velocidade da reação do peróxido com a resina será determinada. (ABMACO, 2009; NETO, PARDINI, 2006, PERÓXIDOS, 2011).

De acordo com o tempo de cura, tempo de gel e propriedades esperada, as resinas poliésteres podem ser aditivadas com aceleradores ou promotores que auxiliam no processo de cura reagindo com o iniciador peróxido formando radicais livres. O uso de inibidores (retardantes) para melhorar a estabilidade de armazenamento da resina evita que o monômero e a parte polimérica reajam entre si antes da adição do iniciador. Os aceleradores mais utilizados são as aminas terciárias e os sais de metal pesado, destacando-se o cobalto e os retardantes mais comuns são hidroquinona e di-tercio-butil hidroquinona (NASSEH, 2007, MOREIRA, 2008).

Segundo Moreira (2008), as resinas poliésteres mais utilizadas são classificadas em ortoftálicas e isoftálicas.

As resinas ortoftálicas (figura 2) são originadas do ácido ftálico e seu anidrido, devido à dificuldade de obtenção de polímeros com alta massa molecular, suas propriedades mecânicas e químicas são inferiores às resinas isoftálicas. O anidrido ftálico tende a se regenerar a partir dos meios ésteres do ácido ftálico (reação reversível), fator que aumenta a presença de espécies de baixa massa molecular e quimicamente instáveis. São utilizadas para aplicações específicas como botões, telhas, *gel coat* ou formuladas para uso geral.

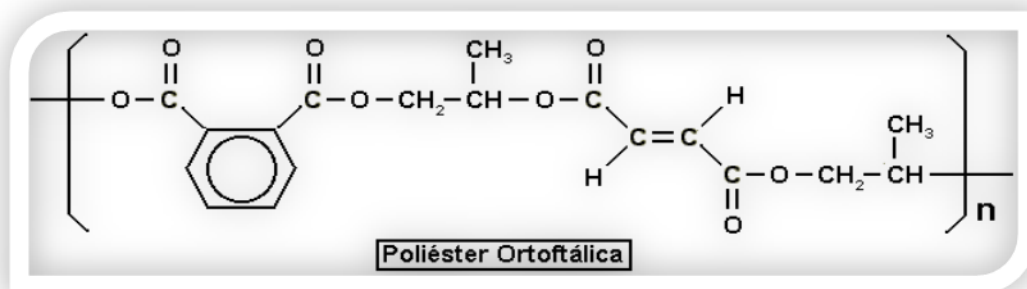


FIGURA 2. Estrutura molecular da resina poliéster ortoftálica (SILAEX, 2011, web).

As resinas isoftálicas são obtidas de poliésteres de alta massa molecular, como o ácido isoftálico não forma anidrido cíclico e estas não sofrem a desvantagem de regeneração como no caso das resinas ortoftálicas. Desta forma o poliéster isoftálico apresenta uma estrutura (figura 3) com maior resistência química e mecânica que absorve melhor aos impactos. São resinas recomendadas para utilização em peças que estarão em contato com ambientes agressivos.

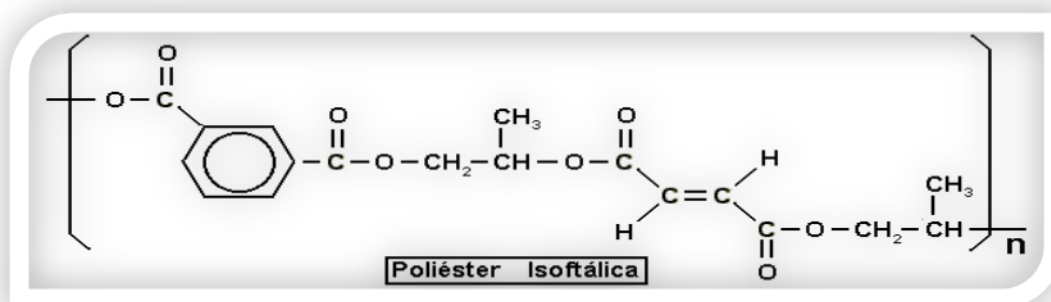


FIGURA 3. Estrutura molecular da resina poliéster isoftálica (SILAEX, 2011, web).

## 2.3 FIBRA DE VIDRO

O vidro é um material constituído de matérias primas mais abundantes do planeta, como o silício que corresponde a 27,7 % da crosta terrestre e é encontrado na forma de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) que combinado com calcário, carvão, ácido bórico e argila completam as substâncias utilizadas para sua fabricação (MARINUCCI, 2011; PEIXOTO, 2001).

As fibras de vidro são produzidas em um forno refratário onde as matérias primas são fundidas a 1450 °C e, em seguida, a massa de vidro fundida passa por uma placa de platina (denominada fieira), originando assim filamentos que posteriormente serão resfriados. O processo (figura 4) é finalizado por meio da ensimagem (*sizing*), que consiste em tratar superficialmente as fibras com emulsões aquosas contendo agentes de acoplamento, lubrificantes, formadores de filme e agentes antiestáticos. Essa etapa proporciona às fibras flexibilidade, compatibilidade com a matriz polimérica (compósito) e proteção para o contato com os equipamentos de fabricação e manuseio (MARINUCCI, 20011; HARADA e WIEBECK, 2005).

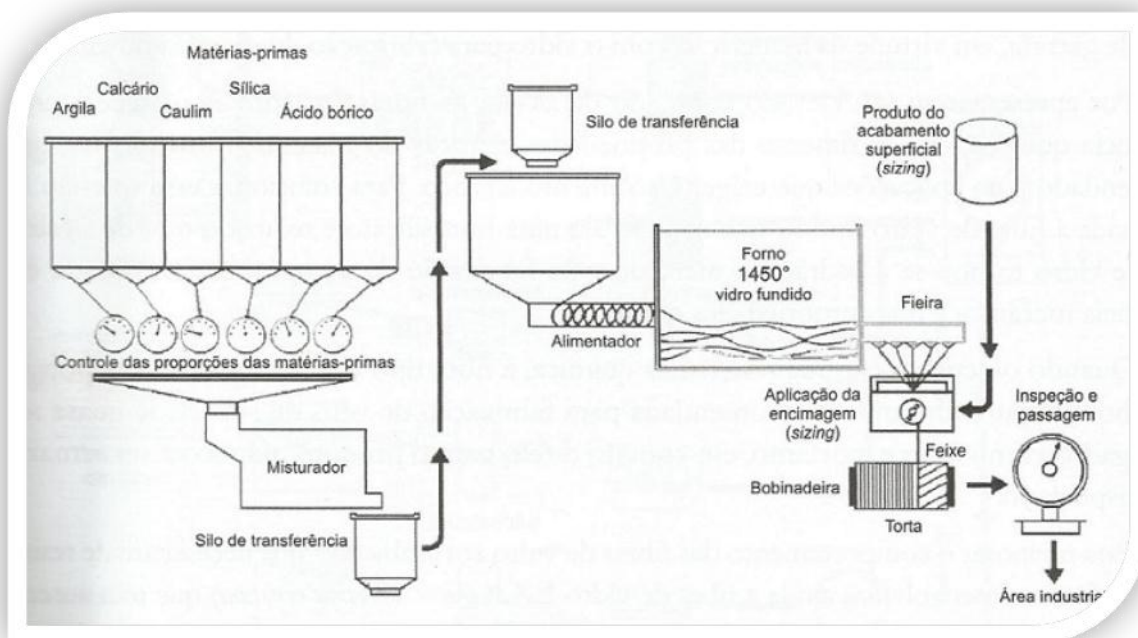


FIGURA 4. Processo de fabricação de fibras de vidro (MARINUCCI, 2011).

Os tipos de fibra de vidro são classificados de acordo com sua composição e apresentam diferentes comportamentos, os mais comuns encontrados são dos tipos A, E,



C e S. As fibras do tipo A (vidro de sódio ou de garrafa), apresentam boa resistência química, entretanto possuem baixa resistência ao ataque por água e baixa resistividade elétrica. As do tipo C (vidros de sódio-borosilicato) são mais resistentes ao ataque de álcalis e ácidos e possuem ótima inércia química, porém, assim como o vidro A não apresentam boa resistividade elétrica. Fazendo um balanceamento das propriedades, as fibras do tipo E (vidros de cálcio-alumínio-borosilicato) são as mais indicadas para a utilização em compósitos, pois alia boa resistência mecânica (resistência à tração e módulo de elasticidade) a elevada resistividade elétrica. Já as fibras do tipo S (vidro de magnésio-alumínio-borosilicato) são compostas por maior teor de sílica que as torna mais resistentes a elevadas temperaturas e com propriedades mecânicas superiores ao vidro E, sendo indicadas para utilização na indústria aeroespacial e aeronáutica (ADAMIAN, 2009; HARADA e WIEBECK, 2005).

As características principais atribuídas às fibras de vidro são: leveza, resistência à degradação, baixa condutividade térmica, não propaga chamas, possui estabilidade dimensional, compatível com matrizes orgânicas e boa resistência mecânica. Essas propriedades quando aplicadas como reforço somam aos compósitos poliméricos algumas particularidades como: resistência ao calor, à corrosão e à umidade, facilidade de fabricação, transporte e instalação, boas propriedades mecânicas e resistência química às intempéries e baixo custo quando comparado com outros materiais constituídos por aço inoxidável, ligas especiais ou até mesmo compósitos reforçados com fibras de alto desempenho como carbono ou aramida (BARCELLOS *et al.*, 2009; RISSON *et al.*, 1998, BARROS, 2010).

Conforme as fichas técnicas disponibilizadas pelos fabricantes, no processo de ensimagem, a fibra pode entrar em contato com polímeros reativos que são polimerizados em maior parte no próprio processo, o que ocorre também com o silano orgânico que está na lista de materiais perigosos, mas é utilizado em concentrações baixíssimas, menos que 0,05% para o vidro E, e é completamente polimerizado neste caso. Entretanto a fibra de vidro é um material não biodegradável e possui propriedades abrasivas que podem danificar equipamentos tanto no processo de fabricação como no de transporte. O contato direto com fragmentos de vidro podem causar irritações nos olhos, nariz, pele e garganta além de agravar doenças respiratórias (BARROS, 2010; KEMERICH *et al.*, 2013).

## 2.4 FIBRAS LIGNOCELULÓSICAS

O Brasil é um país privilegiado geograficamente, possui condições climáticas e solo fértil para o cultivo de uma extensa variedade de espécies de plantas. O investimento no emprego de fibras vegetais contribui com a economia, com a geração de renda, ameniza poluições ambientais e substitui e/ou diminui a utilização de recursos de fontes não renováveis e não biodegradáveis (SATYANARAYANA *et al.*, 2007).

Entre as vantagens da utilização das fibras vegetais no reforço de compósitos estão: elevadas propriedades específicas, possibilidade de fabricação de peças mais leves e de manuseio mais seguro já que não formam arestas cortantes ao serem quebradas, baixo custo, menor densidade, utilização de pouca quantidade de energia derivada de combustíveis fósseis considerando que sua produção depende da energia da luz solar (FIDELIS, 2013; SATYANARAYANA *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2009).

Contudo, as fibras vegetais possuem características inferiores quando comparadas às fibras sintéticas, suas propriedades que dependem da origem, região de plantio e a habilidade manual na colheita são desuniformes, apresentam elevada absorção de umidade que podem causar o inchamento das fibras, degradam com mais facilidade, fator que influencia nas condições e tempo de armazenamento e o processamento é limitado a baixas temperaturas (em torno de 200 °C) (FIDELIS 2013; FRANCO 2010; SILVA, 2004).

A composição química das fibras lignocelulósicas (figura 5), consiste principalmente por microfibrilas (células com alto teor de celulose) envolvidas por uma matriz amorfa de hemicelulose e lignina. A função da matriz é proteger a celulose do ataque de microrganismos e enzimas, fazendo com que a estrutura do material seja rígida e pouco reativa (SANTOS, *et al.*, 2012).

A proporção entre os componentes varia conforme a espécie vegetal, em média os teores encontrados são 40-50 % de celulose, 20-30 % de hemicelulose e 20-28 % de lignina. Em menores valores são encontradas substâncias como compostos inorgânicos, carboidratos simples, pectinas, alcaloides, gorduras e resinas, entre outras (SILVA, *et al.*, 2009).

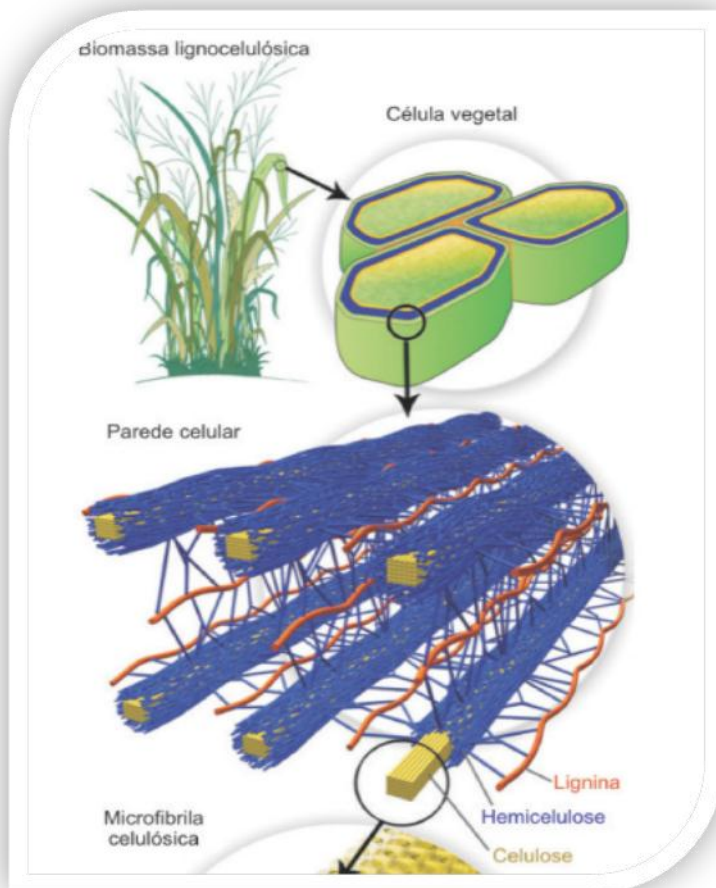


FIGURA 5. Estrutura da biomassa lignocelulósica (Adaptado de SANTOS, et al.,2012).

A estrutura celular das fibras lignocelulósicas (figura 6) é formada por camadas complexas denominadas: parede primária fina - P e parede secundária – S1, S2 e S3. A parede primária é gerada durante o crescimento celular e envolve a parede secundária. A parede secundária é composta por três camadas: parede secundária externa S1, parede secundária média S2 e parede secundária interna S3. A camada S2 possui maior espessura e determina as propriedades mecânicas da fibra, é composta por uma série de microfibrilas consistidas por longas cadeias de celulose (CARVALHO, *et al.*, 2009; SILVA, *et al.*, 2009).

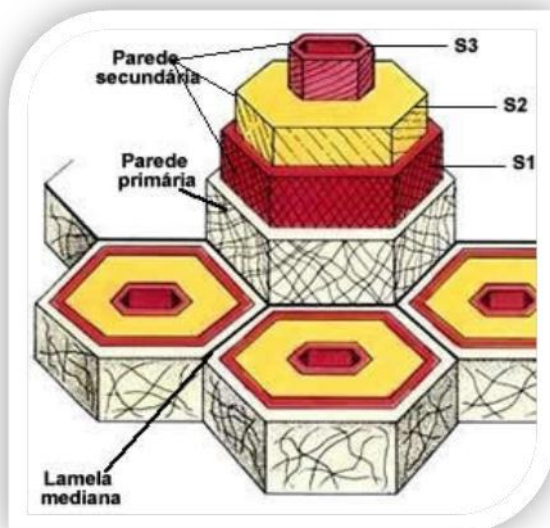


FIGURA 6. Estrutura celular das fibras vegetais (SÓ BIOLOGIA, 2014, web).

A celulose é o principal componente estrutural das fibras lignocelulósicas, uma vez que, fornece força e estabilidade para as paredes celulares e à fibra como um todo. É considerado o componente mais abundante das fibras vegetais, tratando-se de um polímero linear composto por ligações  $\beta$  -1,4 – glicosídicas (figura 7). As hidroxilas presentes em sua estrutura estabelecem ligações de hidrogênio intermolecular e intramolecular, devido a esse fator a celulose tende a formar cristais, adquirindo assim insolubilidade a alguns solventes orgânicos e a água (AGUIAR, *et al.*, 2011; ARANTES e SADDLER, 2010; NETO, *et al.*, 2012).

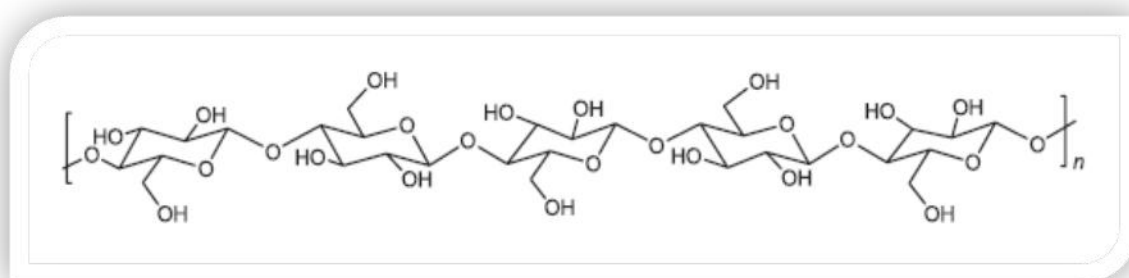


FIGURA 7. Representação da estrutura molecular da celulose (SANTOS, et al.,2012).

As hemiceluloses (também denominadas polioses) são polissacarídeos compostos por pentoses, hexoses e ácidos urônicos polimerizados. Apresentam em suas estruturas (figura 8) considerável grau de ramificação, baixa massa molar, elevada hidrofiliabilidade e ausência de cristalinidade. Essas características acentuam sua

capacidade de degradação fazendo com que sua taxa de decomposição seja superior à da celulose. As estruturas ramificadas das hemiceluloses reagem facilmente com a celulose proporcionando-lhe estabilidade e maleabilidade, também atua como agente de acoplamento entre a lignina e a celulose (CARVALHO, *et al.*, 2010; SANCHEZ, *et al.*, 2010; VELOSO, *et al.*, 2013).

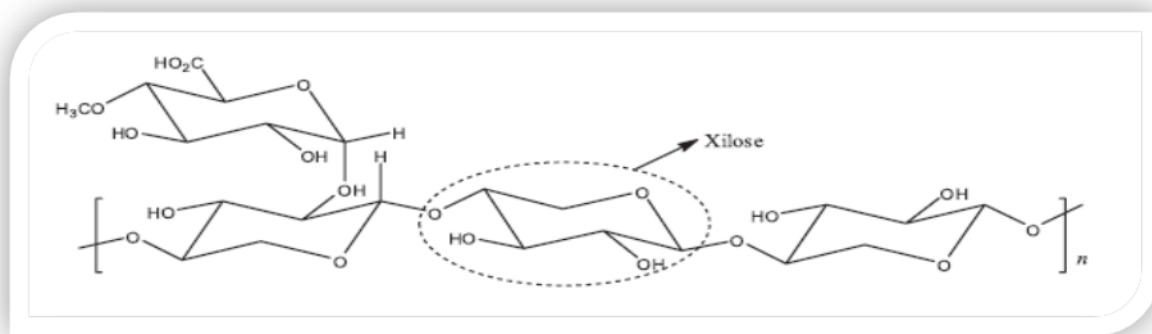


FIGURA 8. Representação da estrutura molecular da hemicelulose (SANTOS, *et al.*, 2012).

Consideradas biomacromoléculas complexas e com considerável dificuldade de isolamento em sua forma natural, a lignina é considerada o segundo componente mais abundante presente nas plantas. Possui uma estrutura (figura 9) tridimensional polifenólica, altamente ramificada, composta por várias unidades de fenilpropano (álcool *p*-cumarílico, álcool coferílico e álcool sinapílico) dispostas de forma irregular. A presença da lignina determina o aumento da rigidez da parede celular, pois atua como agente fixador entre as células. É considerada um material amorfo, com alta massa molar e possui comportamento hidrofóbico, o que auxilia na redução da permeabilidade da parede celular. A lignina também é responsável por proteger a célula de microrganismos e pela resistência à compressão suportada pela planta, o que permite seu crescimento e desenvolvimento (MESCHEDE, *et al.*, 2011; MONTEIRO, *et al.*, 2012; SANTOS, *et al.*, 2012; ZANUNCIO, *et al.*, 2011).

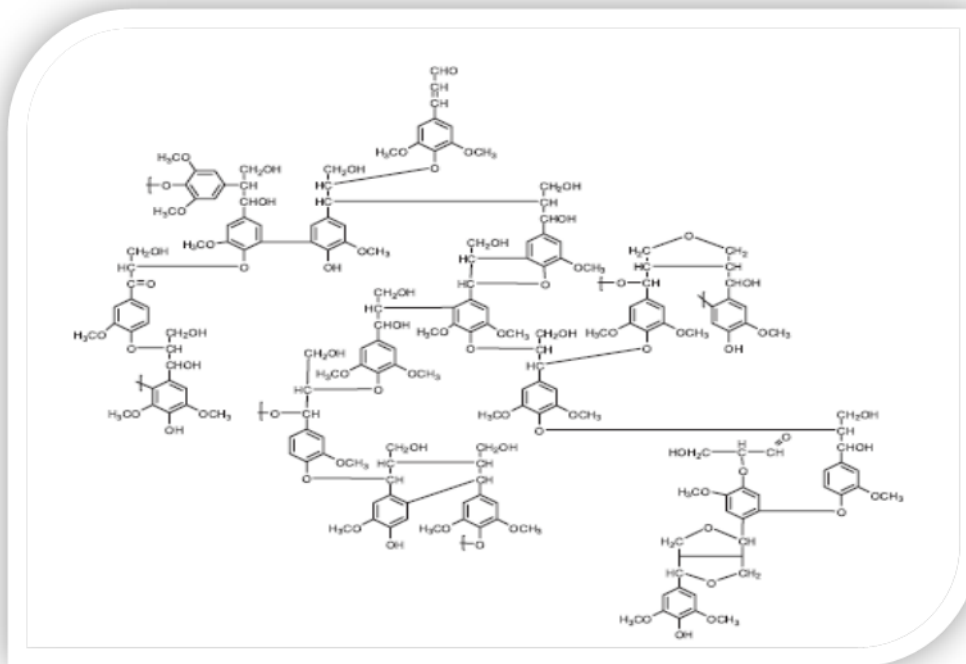


FIGURA 9. Representação da estrutura molecular da lignina (SANTOS, et al., 2012).

#### 2.4.1 Curauá

O *Ananas erectifolius* (curauá) é uma planta de origem das bromeliáceas, a mesma família do abacaxi e sua localização está distribuída na região amazônica do Brasil. A região de Lago Grande no Pará possui destaque em sua produção, desde 2009 após o patrocínio da Petrobrás, o Centro de Apoio a Projetos de Ação Comunitária (CEAPAC) iniciou o projeto “Curauá – Fibra do desenvolvimento” que tem como objetivo impulsionar a produtividade do curauá gerando renda para população rural de Lago Grande, que possui a economia centralizada na pesca e na pecuária (CEAPAC, 2013; LIMA *et al.*, 2011; MATTOSO, *et al.*, 1996).

São encontrados na natureza duas variações de curauá: o curauá roxo (figura 10-a), nomeado assim devido às suas folhas roxo-avermelhadas e o curauá branco (figura 10-b) que possui folhas verde-claras. Além da diferença na coloração, há também distinção na maciez das fibras e nas mudas das plantas. O curauá branco produz mais mudas de rebento (mudas que surgem em várias regiões da planta), tornando-o o mais escolhido pelos produtores. Dentre outros aspectos fisiológicos, as folhas do curauá chegam a 1,5 m de comprimento e 4 cm de largura, são duras, rígidas, retas com faces

planas e comumente as suas margens não possuem espinhos (ARAÚJO, 2009; CEAPAC, 2014; SANTOS *et al.*, 2005).



FIGURA 10. a) Curauá roxo (ÁGUA BRANCA ONLINE, 2013 web); b) Curauá branco (O IMPACTO, 2013 web).

As fibras de curauá são extraídas da folha empregando-se um equipamento denominado “periquita”, similar ao utilizado para extração da fibra do sisal. Anteriormente ao projeto da CEAPAC, o método manual para extração da fibra era por meio da utilização de “cacete” (pedaço de madeira) e fio de náilon amarrado em uma árvore. Este procedimento primitivo e descoberto pelos índios que utilizavam as fibras de curauá para a confecção diversos produtos como cestas e redes, gerava uma produção diária de 3 a 5 kg. Com o desenvolvimento e o incentivo do projeto que viabilizou a compra de equipamentos essa quantidade aumentou para 20 a 25 kg por dia. O teor da fibra extraído nesse processo é de 5 a 8 % e todo o rejeito do curauá é reaproveitado para alimentação de criações e como adubo orgânico (ANGRIZANI, 2011; CEAPAC, 2014; CORRÊA *et al.*, 2009; SATYANARAYANA *et al.*, 2007; TOMCZAK, 2010.).

O curauá apresenta melhor desempenho mecânico quando comparado com fibras vegetais como rami, sisal, linho, juta entre outras, e mesmo com espessura reduzida, possui capacidade de resistir a elevadas tensões, sendo uma das fibras de origem natural mais utilizada para substituição da fibra de vidro devido a essas características (ORNAGHI JUNIOR *et al.*, 2012). Spinacé *et al.*, (2009) comparou as propriedades das fibras de sisal e curauá e constatou que as fibras de curauá apresentam menores valores de densidade e diâmetro e maior valor de resistência à tração, concluindo assim, que as fibras de curauá apresentam maior potencial de reforço.

A fibra de curauá é um material atrativo tanto economicamente quanto tecnologicamente, pois alia as facilidades de obtenção e baixo custo às características de



elevada maciez, baixa densidade e ausência de odores. Além disso, a fibra de curauá apresenta em sua microestrutura filamentos que auxiliam em sua aderência com uma matriz polimérica devido à ancoragem mecânica, possibilitando assim sua utilização para fabricação de materiais compósitos nas indústrias do ramo de construção civil, moveleira e automobilística que investem na aplicação da fibra de curauá (LUZ e LENZ, 2011 *apud* SILVA e AQUINO, 2008; MONTEIRO *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2005 *apud* CARASCHI e LEÃO, 2000; ZAH *et al.*, 2007).

#### 2.4.2 Açaí

O açaí é o fruto proveniente de diferentes espécies de palmeiras. Conforme a região, as mais comuns são *Euterpe edulis* originária da mata atlântica, *Euterpe oleracea* e *Euterpe precatória* encontradas na região amazônica. As palmeiras se diferem conforme a fisiologia de possuírem multicaule (*Euterpe oleracea*) vulgo “touceira” ou monocaule (*Euterpe edulis* e *Euterpe precatória*). Essa característica influencia no potencial econômico da planta, sendo que, os frutos e o palmito produzidos pela touceira são mais utilizados devido à capacidade de reprodução e adaptabilidade em diversos tipos de solo como várzea, igapó e terra firme. Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) somente no ano de 2009 foram produzidas 115 947 toneladas de açaí nos estados do Pará e Maranhão, sendo o estado do Pará responsável por 87,4 % da produção nacional (IBGE, 2009; MARANHÃO, *et al.*, 2012; OLIVEIRA, *et al.*, 2007).



FIGURA 11. a) Palmeira *Euterpe edulis* b) Mesocarpo do açaí recoberto por fibras

FONTE: A autora (2013).



O emprego do açazeiro é extenso, pode ser utilizado como: material de construção, produção de celulose (papel Kraft), remédio, ração animal, confecção de artesanatos e bijuterias e para alimentação. Entretanto a produção agroindustrial possui papel predominante na extração de açaí, a polpa processada do fruto é utilizada para alimentação em diversos estados brasileiros e no exterior. Antigamente o aproveitamento do palmito produzido pela palmeira juçara (*Euterpe edulis*) era exclusivo, no entanto por ser uma planta monocaule, após a sua extração não apresenta germinações tornando necessário o replantio da planta, pois há o risco de extinção da espécie. Atualmente agroindústrias do sul do país utilizam a juçara (figura 11 a) apenas para o emprego dos frutos na comercialização da polpa e desta forma preserva a palmeira (ILLENSEER e PAULILO, 2002; ITO, *et al.*, 2007; LORENZI, 2002; MARTINS, *et al.*, 2005; OLIVEIRA, *et al.*, 2007).

A extração do fruto pode ser realizada por duas técnicas, uma mais primitiva na qual o apanhador necessita subir na palmeira com auxílio de uma “peçonha” (espécie de cinto geralmente traçado com folhas do próprio açazeiro) e utiliza um objeto cortante (faca ou terçado) para retirar o cacho do estipe da planta. Em seguida o transporte do cacho e a coleta dos frutos (etapa denominada de “debulhamento”) são realizados manualmente e estes são armazenados em um cesto de vime conhecido como “paneiro”. A outra técnica baseia-se no emprego de uma ferramenta artesanal adaptada pelos agricultores na região sul do Pará, para a retirada dos frutos sem que haja a necessidade de subir na palmeira. Em ambos os casos, a coleta deve ser realizada em temperaturas amenas para que não ocorra o ressecamento dos frutos (NOGUEIRA, 1995; OLIVEIRA, *et al.*, 2007; VASCONCELOS, *et al.*, 2006).

A obtenção da polpa do açaí é realizada por meio das seguintes etapas: recepção dos frutos, seleção manual, lavagem em solução de hipoclorito de sódio, aspersão com água filtrada, maceração, despulpamento e refino. O despulpamento pode ser feito manualmente ou com a utilização de equipamentos mecânicos (despulpadeira, figura 12). O funcionamento do maquinário consiste na utilização de um motor elétrico, com um sistema de redução por correia e polia, que giram em uma mesma árvore com palhetas em uma das extremidades. Esse sistema está acionado a um tambor cilíndrico de aço inox no qual os frutos são batidos e misturados à água potável, então são arrastados por forças gravitacionais ao fundo do cilindro que apresenta formato cônico e possui uma peneira de 0,6 mm na qual passa somente a polpa. A borra e os caroços são

liberados pela abertura lateral do cilindro após o motor ser desligado (ALEXANDRE, *et al.*, 2004; FADDEN 2005 *apud* ROGEZ 2000; NOGUEIRA, *et al.*, 2005).

O resíduo gerado no processo de despulpamento corresponde a 90 % do volume dos frutos produzidos e é composto por caroços e camadas mais grossas da polpa do açaí que ficaram retidas na peneira no processo. As fibras encontram-se presentes no revestimento do mesocarpo (caroço, figura 11 b) e na polpa do fruto, sendo, portanto, um subproduto do despulpamento. Ainda que correspondam a materiais lignocelulósicos, estes rejeitos muitas vezes são dispostos de maneira ilícita no meio ambiente, tornando-se poluentes quando descarregados às margens de mananciais, sendo responsáveis pela redução das taxas de oxigênio dissolvido na água e pela eutrofização (LIMA JUNIOR, 2007; MARANHO, *et al.*, 2012; MARTINS, *et al.*, 2009).

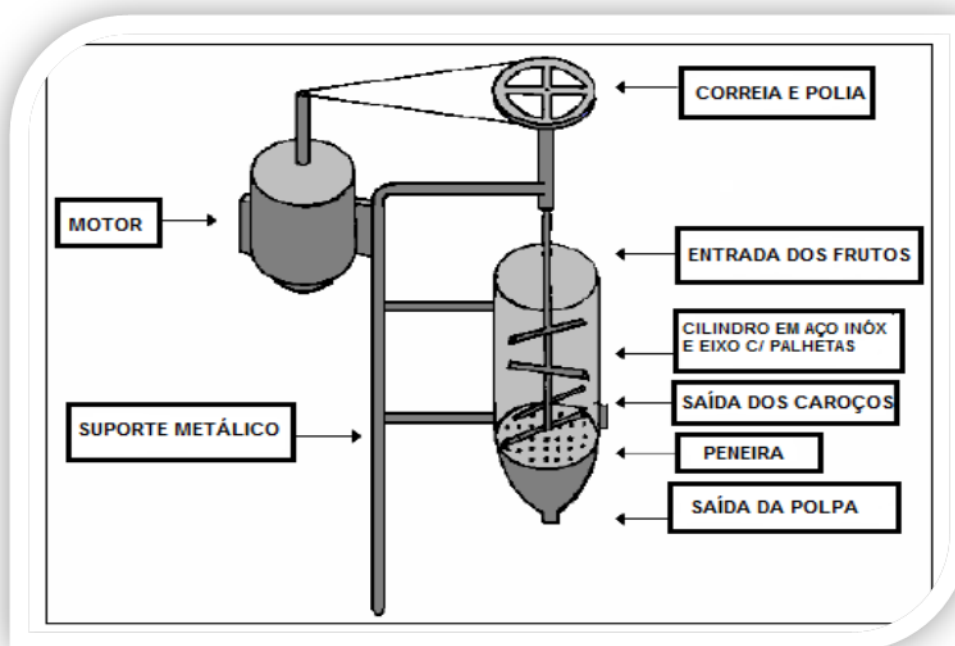


FIGURA 12. Representação de uma despulpadeira convencional para frutos de açaí (modificado de OLIVEIRA, *et al.*, 2007).

Algumas pesquisas foram realizadas com o intuito de destinar o aproveitamento desses materiais para aplicações como artesanato, fabricação de papéis, produção de adubo, extração de oxidante, substrato enzimático e geração de energia. Porém, estudos direcionados às fibras de açaí em compósitos ainda são escassos. De acordo com Martins *et al.*, (2009) as fibras e o caroço do açaí apresentam comportamento térmico

compatível com aplicações na indústria de materiais e automobilística, assim como as fibras de sisal e coco que já vem sendo empregadas. Deste modo, geram-se perspectivas para o emprego das fibras de açaí no desenvolvimento de novos materiais (MARTINS, *et al.*, 2005; OLIVEIRA, *et al.*, 2007; VALENÇA, *et al.*, 2011).

#### 2.4.3 Tratamento químico de fibras lignocelulósicas

Nos compósitos poliméricos a adesão entre o reforço e a matriz é significativamente importante, pois a transferência de cargas da matriz para as fibras ocorre através da interface e dessa forma as propriedades físicas e mecânicas dos compósitos estão correlacionadas à essa interação. Devido às características das fibras vegetais, que são constituídas por camadas amorfas com grupos hidroxílicos que reagem facilmente com a água, estes materiais apresentam comportamento suscetível à degradação, ataque por microrganismos, baixa resistência química e alta polaridade, o que os tornam materiais incompatíveis com a maioria das matrizes poliméricas utilizadas (BLEDZKI e GASSAN, 1999; MERLINI *et al.*, 2012; SANCHEZ *et al.*, 2010).

Na literatura há disponível vários métodos de modificação superficial das fibras lignocelulósicas, como agentes de acoplamento, tratamentos alcalinos (mercerização), acetilação, silanização, entre outros. No entanto, o tratamento alcalino com solução aquosa de hidróxido de sódio (NaOH) é o mais utilizado, além de ser mais econômico ele modifica a morfologia, as dimensões e as propriedades mecânicas das fibras (ALBINANTE *et al.*, 2013; FROLLINI e RAZERA, 2004; MERLINI *et al.*, 2012).

A mercerização é o tratamento no qual se utiliza uma solução aquosa de base forte para reagir com as fibras vegetais levando-as a grande inturgescência e modificando suas estruturas conforme a ASTM D1695. O tratamento alcalino com hidróxido de sódio atua modificando a estrutura molecular da celulose enfraquecendo as ligações de hidrogênio que são apresentadas na forma de rede, aumentando assim a quantidade de celulose amorfa e alterando sua cristalinidade de monoclinica para polimórfica. Esse tratamento remove significativamente a quantidade de lignina e hemicelulose que recobrem a fibra devido à alta solubilidade da hemicelulose em álcalis, situação em que ocorre a hidrólise alcalina da lignina conforme a figura 13 (ALBINANTE *et al.*, 2013; KABIR *et al.*, 2012; MAHJOUB *et al.*, 2014; SANCHEZ *et al.*, 2010).

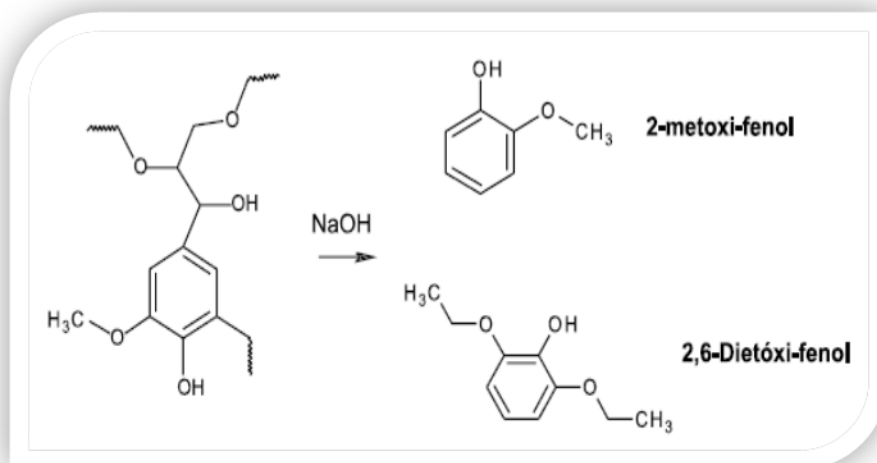


FIGURA 13. Hidrólise básica da lignina (ALBINANTE *et al.*, 2013).

Após a redução da quantidade de hemicelulose, a região interfibrilar se torna menos rígida e menos densa, fazendo com que as microfibrilas de celulose consigam se reorganizarem no local da deformação. Quando ocorre o estiramento das fibras lignocelulósicas essa reorganização das microfibrilas resulta em uma distribuição melhor das tensões proporcionando às fibras melhor resistência à tração. O tratamento com NaOH remove as impurezas superficiais e diminui os microvazios tornando as fibras mais uniformes e rugosas e altera a proporção entre comprimento/diâmetro da fibra, o que faz com que a aderência entre matriz e reforço seja maior e consequentemente as propriedades mecânicas do compósito melhorem (BLEDZKI e GASSAN, 1999; CAMPOS *et al.*, 2011; KABIR *et al.*, 2012).

Segundo Mahjoub e colaboradores (2014) o tratamento efetuado com 5 % de solução de hidróxido de sódio apresentou melhores resultados nas propriedades da fibra de sisal em um compósito híbrido com fibra de vidro devido à maior concentração de álcali da solução. Porém, o excesso de deslignificação pode enfraquecer e danificar a fibra lignocelulósica, prejudicando suas propriedades térmicas e mecânicas (KABIR *et al.*, 2012).

Moraes (2010) após sua dissertação de mestrado “Estudo do íon borohidreto como agente protetor de fibras de sisal no tratamento em meio alcalino” patenteou em 2013 a utilização do borohidreto de sódio ( $\text{NaBH}_4$ ) para proteção de fibras vegetais no tratamento com o hidróxido de sódio. Em seu trabalho ele comparou o efeito da utilização de 1 %, m/v de  $\text{NaBH}_4$  com diferentes percentuais de NaOH no tratamento de

fibras de sisal para utilização como reforço em matriz de resina poliéster insaturado, obtendo os melhores resultados nas propriedades de estabilidade térmica, morfologia, composição química, resistência à tração e adesão nos compósitos em que utilizou-se a concentração de 5 % de NaOH.

De acordo com Pereira *et al* (2011) o borohidreto de sódio é comumente empregado como agente redutor para redução de carbonílicos, pois é eficaz em condições brandas e meio aquoso, o que não ocorre na utilização de outros redutores como hidreto de alumínio e lítio. Para melhor compreensão do efeito nas fibras do mecanismo de redução do borohidreto de sódio, faz-se necessário uma breve introdução a degradação alcalina da celulose.

A reação de degradação alcalina que possui maior distinção é denominada de *peeling* seguida pela reação de *stopping*. Como apresentada na figura 7, à celulose possui unidades redutoras de açúcares em suas extremidades (ligações 1 → 4), esses grupos terminais ao serem submetidos a bases fortes são removidos (reação de *peeling*), o que provoca a diminuição considerável do tamanho médio da cadeia celulósica (CANDIDO, 2011; GEORG, 2000).

Considera-se na figura 14 que o isômero hemiacetal (I) está em equilíbrio com o isômero acíclico do aldeído (II). Devido à presença do grupo carbonil em C-1 na aldose (II), o hidrogênio ligado ao C-2 se torna ácido, de forma que, ocorre rápida remoção do grupo redutor em meio alcalino. Sendo que, o íon carbônium (estabilizado por ressonância) pode se reverter para aldose (II), transformando-se em epímero C-2 (IV) ou ser convertido na quetose (VII, maior parte dos produtos formados) correspondente. Os íons (III) e (VI) ficam em equilíbrio sem transição através do enediol (V). De forma semelhante, devido ao grupo carbonil em C-2 da quetose (VII), o hidrogênio ligado ao C-3 é facilmente removido no meio alcalino. Resultando no íon carbônium (VIII) que mesmo estabilizado por ressonância, é instável, ocorrendo à reação de eliminação (*peeling*). O ânion  $RO^-$  é eliminado, originando um novo terminal redutor (IX), que rapidamente forma alfa-dicetona (X, reação de tautomerização), formando uma nova estrutura com um rearranjo de ácido gluco isosacaríneo (XI) e benzílico. A reação de *peeling* acaba com uma reação de *stopping*, na qual o *peeling* fica inativo após um número limitado de eliminações por causa do hidrogênio ativo em C-2 na cadeia de açúcar original (I), tornando o grupo hidroxílico C-3 instável (FIGUEIREDO, 2008; GEORG, 2000).

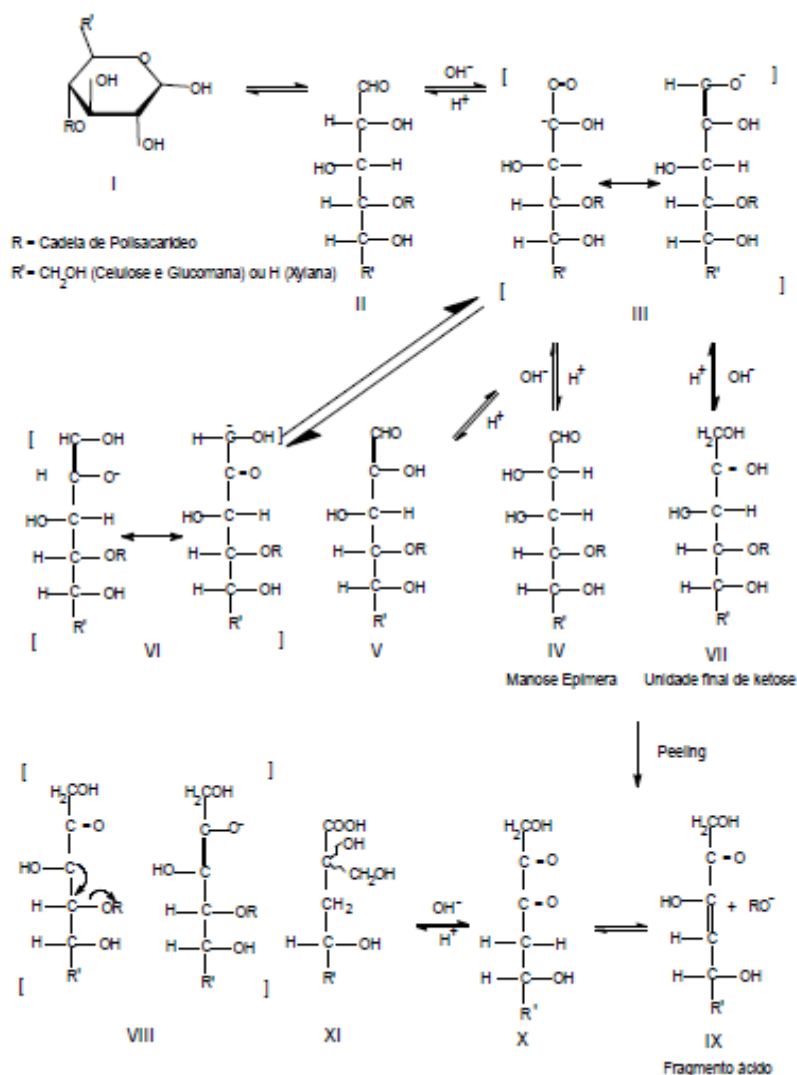


Figura 14. Mecanismos da reação de *peeling* e *stopping* (GEORG, 2000).

A utilização do íon borohidreto como agente redutor em fibras vegetais tem por finalidade diminuir ou evitar a degradação das unidades de monossacarídeos presentes na cadeia celulósica por meio da redução no grupo terminal aldeído presente no C-1 do polissacarídeo. A reação de redução ocorre através da remoção de átomos eletronegativos como oxigênio ou halogênio pela adição de hidrogênio. Essas unidades monoméricas proporcionam as fibras estabilidade estrutural e são afetadas com as condições de pH do tratamento alcalino, que reduz de forma expressiva o grau de polimerização da celulose. A figura 15 simula a reação de redução proposta neste trabalho (KNNIL e KENNEDY, 2003; MORAES, 2010).

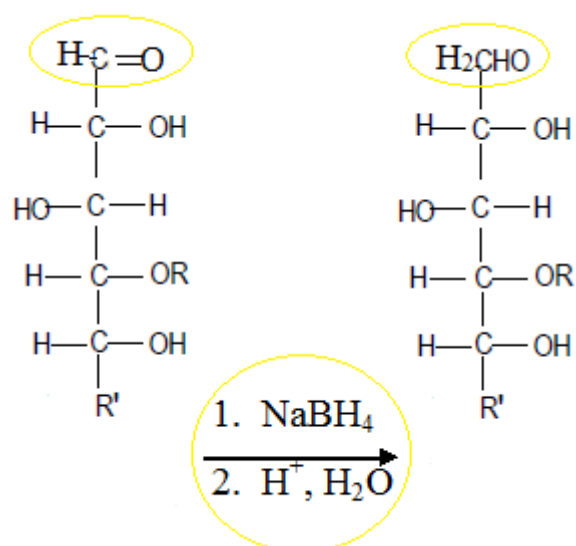


Figura 15. Mecanismo de redução do grupo aldeído pelo  $\text{NaBH}_4$  (modificado de GEORG, 2000).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em parceria com a Universidade da Região de Joinville - Univille, onde foram conduzidas as preparações dos compósitos, a caracterização térmica (análise termogravimétrica - TGA), caracterização química das fibras (teores de umidade, cinzas, lignina, celulose e hemicelulose), caracterização mecânica (resistência à tração e flexão) e absorção de água dos compósitos. A caracterização morfológica (microscopia eletrônica de varredura - MEV), a razão de aspecto das fibras lignocelulósicas e a densidade dos compósitos foram realizadas na Universidade Federal do Paraná - UFPR. A espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier - FTIR foi realizada na Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

O quadro 1 exibe as amostras de compósitos que foram estudados e suas respectivas siglas. Em todos os ensaios foi utilizada a resina poliéster insaturado (R) como comparativo.

QUADRO 1 – Amostras de compósitos que foram estudados e suas respectivas siglas.

Compósito	Sigla
Resina poliéster/fibra de curauá	RC
Resina poliéster/fibra de curauá com 5%NaOH	RCH
Resina poliéster/fibra de curauá com 5%NaOH/1%NaBH <sub>4</sub>	RCHB
Resina poliéster/fibra de açaí	RA
Resina poliéster/fibra de açaí com 5%NaOH	RAH
Resina poliéster/fibra de açaí com 5%NaOH/1%NaBH <sub>4</sub>	RAHB
Resina poliéster/fibras de açaí e curauá	RAC
Resina poliéster/fibras de açaí e curauá com 5%NaOH	RACH
Resina poliéster/fibras de açaí e curauá com 5%NaOH/1%NaBH <sub>4</sub>	RACHB
Resina poliéster/fibra de vidro	RV
Resina poliéster/fibras de vidro e curauá	RVC
Resina poliéster/fibras de vidro e curauá com 5%NaOH	RVCH
Resina poliéster/fibras de vidro e curauá com 5%NaOH/1%NaBH <sub>4</sub>	RVCHB
Resina poliéster/fibras de vidro e açaí	RVA
Resina poliéster/fibras de vidro e açaí com 5%NaOH	RVAH
Resina poliéster/fibras de vidro e açaí com 5%NaOH/1%NaBH <sub>4</sub>	RVAHB

FONTE: A autora (2013)

As propriedades da resina poliéster insaturada constam na tabela 1 de acordo com o boletim técnico fornecido pelo fabricante.



TABELA 1 – Propriedades da resina poliéster insaturada ortoftálica, ENYDYNE H653 TA, da CCP – Composites do Brasil.

Características	Norma	Unidade	Valores
Viscosidade Brookfield a 25°C	ASTMD-2196	(cP)	300-380
Índice de tixotropia	ASTMD-2196	adimensional	2,0-3,0
<i>Gel time</i> a 25°C*	ASTMD-2471	min:seg	10:00-15:00
Intervalo simples	ASTMD-2471	min:seg	9:00-15:00
Pico exotérmico	ASTMD-2471	°C	145-175
Índice de acidez	ASTMD-1639	(mg KOH/g)	25,00 máximo
Teor de sólidos	ASTMD-1259	%	56,00-59,00
Densidade a 25°C	ASTMD-1475	g/cm <sup>3</sup>	1,10-1,12
Dureza Barcol após 24 horas	ASTMD-2583	-	40

Descrição da ENYDYNE H653: Resina poliéster insaturada ortoftálica, pré-acelerada, tixotrópica, de média viscosidade e baixa reatividade, possui rápido ciclo de cura e ótima molhabilidade, cura uniforme em laminados finos. Recomendada para processos de laminação *hand lay up* e *spray up*.

\*Sistema catalítico: 100g de resina com 1ml de MEK-P

FONTE: ABCOL (2013)

### 3.1 Materiais

As fibras de curauá foram fornecidas pelo Centro de Apoio a Projetos de Ação Comunitária em Belém – PA (CEAPAC), as fibras de açaí foram cedidas pela empresa ALICON AGROINDUSTRIAL em GARUVA-SC e as fibras de vidro picadas do tipo E (CPIC P244 – Fiberglass) foram doadas pela empresa TECNOFIBRAS S.A em Joinville - SC.

A resina poliéster insaturada ortoftálica (ENYDYNE H653 TA), o peróxido de metil-etil-cetona - MEK-P (BUTANOX M50), a cera desmoldante (TecGlaze -N) e o solvente de limpeza, foram adquiridos na empresa ABCOL – Soluções em Compósitos em Joinville – SC.

O hidróxido de sódio em escamas (NaOH), teor 98 % foi adquirido da empresa QUIMINORTE de Joinville e o borohidreto de sódio sólido (NaBH<sub>4</sub>), teor 98 % foi obtido pela VETEC – Química Fina em Duque de Caxias – RJ.

Os outros reagentes utilizados no presente trabalho, para a caracterização das fibras foram fornecidos pela Univille.

### 3.2 Métodos

#### 3.2.1 Pré-tratamento das fibras lignocelulósicas

As fibras de curauá, recebidas em fios emaranhados com comprimento aproximado de 80 cm (figura 16 a), foram separadas das partes danificadas e cortadas com auxílio de tesoura em cerca de 2 cm (figura 16 b), de modo que apresentassem similaridade com o tamanho das fibras de açai e posteriormente foram lavadas.

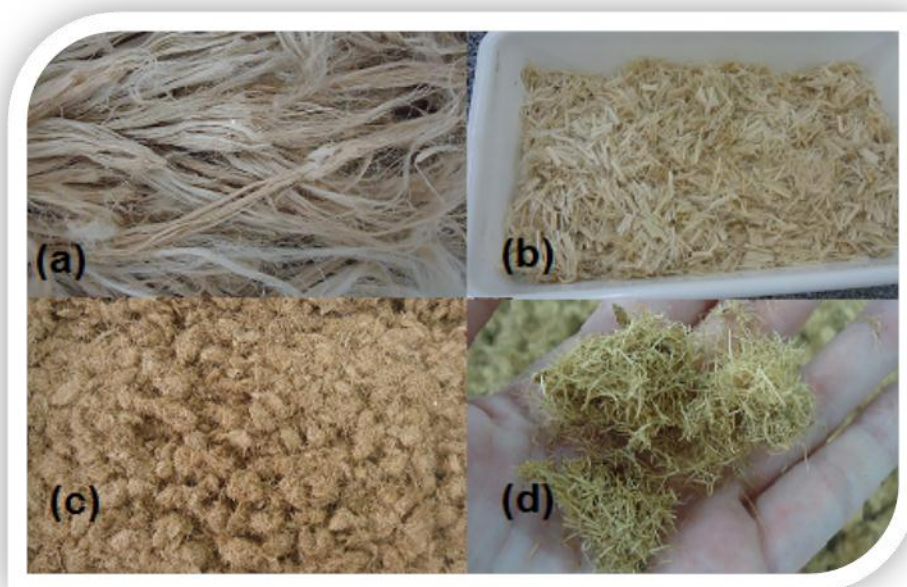


FIGURA 16 – Fibras de curauá e açai. (a) fibras longas de curauá. (b) fibras picadas de curauá e (c) e (d) fibras de açai após o pré-tratamento.

FONTE: A autora (2013)

As fibras de açai, por serem provenientes de rejeito industrial chegaram com resíduos de polpa, sementes e cascas do fruto, sendo necessário a lavagem e o peneiramento triplicados com o intuito de obter ao máximo a pureza das fibras. Após este procedimento, ambas as fibras foram colocadas em estufa com circulação de ar por 24 h a 60 °C e pesadas em balança semi - analítica. A figura 16 c e d mostram as fibras de açai após a secagem.

### 3.2.2 Tratamento químico das fibras lignocelulósicas

Com a finalidade de modificar superficialmente as fibras de açai e curauá, dois tipos de tratamentos alcalinos foram empregados:

- 5% NaOH
- 5% NaOH/1%NaBH<sub>4</sub>

O procedimento utilizado no tratamento com 5 % NaOH, consistiu no preparo de uma solução de 660 g de NaOH e 13,2 L de água destilada onde 100 g de fibras após serem agitadas a solução, ficaram imersas por 24 h a 25 °C. Para o tratamento com 1 % NaBH<sub>4</sub>, 132 g do borohidreto de sódio foi adicionado no preparo da solução de 5 % NaOH, sendo que a proporção de solução alcalina/fibras foi baseada na dissertação de mestrado de Moraes 2010. Após o tratamento, as fibras foram lavadas em água corrente e colocadas em estufa com circulação de ar a 60 °C por 24 h.

### 3.2.3 Determinação da densidade das fibras lignocelulósicas

Para determinação da densidade das fibras de açai e curauá conforme a norma NBR 11936 (1991), foi pesado um picnômetro vazio (m1), o mesmo foi preenchido com etanol 92,8 INPM a 24 °C, com densidade padrão de 0,787 g/cm<sup>3</sup> e pesado (m2). Em seguida com esses valores foi calculado o volume exato do picnômetro (equação 1). Uma quantidade pequena do etanol foi retirada e uma massa conhecida de fibra (m3) foi adicionada, o volume do picnômetro foi completado com etanol e pesado novamente (m4). Para o cálculo da densidade das fibras utilizou-se as equações 2, 3 e 4, o ensaio foi realizado em triplicata.

$$V(\text{picnômetro}) = \frac{(m2-m1)}{p(\text{etanol})} \quad (\text{equação 1}) \quad V(\text{etanol}) = \frac{(m4-m3-m1)}{p(\text{etanol})} \quad (\text{equação 2})$$

$$V(\text{fibra}) = V(\text{picnômetro}) - V(\text{etanol}) \quad (\text{equação 3})$$

$$p(\text{fibra}) = \frac{(m3)}{V(\text{fibra})} \quad (\text{equação 4})$$

### 3.2.4 Determinação da razão de aspecto das fibras

Considerando que as fibras de açaí, curauá e vidro não apresentam dimensões simétricas, foram realizadas medições de diâmetro (D) com auxílio do microscópio óptico Olympus BX 51M em lente (2x10) e com 20 vezes de aumento e do comprimento (L) das amostras por meio de paquímetro analógico (KINGTOOLS – 150 x 0,05 mm/6”), a fim de avaliar a razão de aspecto (L/D) das fibras.

### 3.2.5 Caracterização química das fibras lignocelulósicas

A caracterização química das fibras vegetais tem como objetivo identificar sua natureza e compreender o seu comportamento mediante as aplicações nos compósitos. Nesta etapa foi realizado o ensaio de espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e a triplicata dos teores de umidade, cinzas, celulose, hemicelulose e lignina nas fibras de açaí e curauá com e sem os tratamentos alcalinos.

#### 3.2.5.1 Teor de umidade

O método empregado para quantificar a umidade presente nas fibras seguiu a norma TAPPI T550 om-03. Vidros de relógios foram lavados com álcool 70 % e água destilada e secados em estufa a 105 °C por 1 h. Em seguida, foram pesados em balança analítica e identificados. Logo após, foram tarados e adicionados cerca de 1 g de amostra de fibra e colocados em estufa a 105 °C por 30 min e pesados, este procedimento foi repetido até atingir massa constante, permanecendo por mais 1 h na estufa no final. Em seguida, foram transferidos para um dessecador onde foram resfriados e pesados. Conforme a equação 5 foi efetuado o cálculo de percentual de umidade.

$$U(\%) = - \frac{m_s - m_u}{m_u} \times 100 \quad (\text{equação 5})$$

Onde:

$U(\%)$  = teor de umidade em porcentagem.

$m_s$  = massa seca (g)

$m_u$  = massa úmida (g)

### 3.2.5.2 Teor de cinzas

O ensaio de teor de cinzas foi realizado conforme a norma TAPPI T211 om-02, com o objetivo de quantificar o percentual de material inorgânico presente nas fibras. Para realização deste ensaio a mufla - QUIMIS-Q318.24 (figura 17 a) foi estabilizada a 600 °C. Em seguida, cadinhos de porcelana, previamente lavados com álcool 70 % e água destilada foram incinerados na mufla por 15 min, resfriados em dessecador por 1 h e tarados em balança analítica. Posteriormente, as fibras retiradas do ensaio de umidade foram adicionadas aos cadinhos, pesadas e colocadas na mufla a 600 °C por 3 h. Logo após, foram resfriados em dessecador por 1 h e pesados os cadinhos com as cinzas (figura 17 b). O teor de cinzas pode ser calculado por meio da equação 6.

$$C(\%) = \frac{A}{B} . 100 \quad (\text{equação 6})$$

Onde:

C(%) = teor de cinzas em porcentagem.

A = massa de cinzas (g).

B = massa de amostra (g).

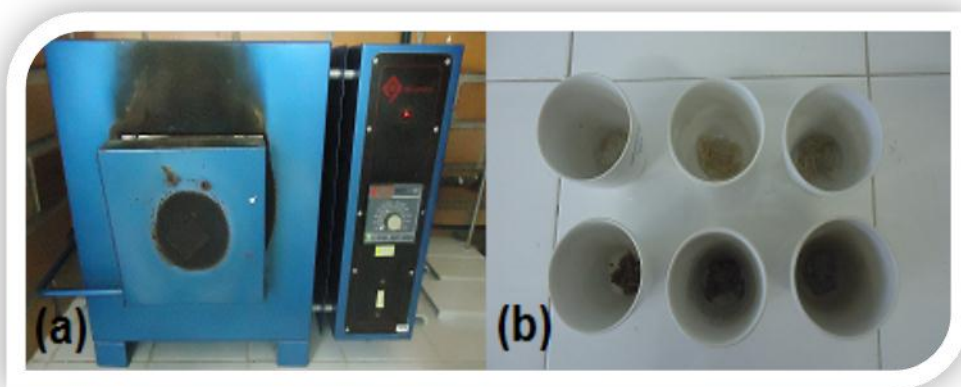


FIGURA 17 - Ensaio de teor de cinzas. (a) Mufla. (b) cadinhos com cinzas.

FONTE: A autora (2013)

### 3.2.5.3 Composição química (hemicelulose, lignina e celulose)

A determinação dos percentuais de hemicelulose, lignina e celulose presentes nas fibras foi efetuada seguindo a metodologia proposta por Silva (1981).

#### - Determinação do teor de hemicelulose

Para a determinação do teor de hemicelulose foi necessária a preparação das soluções:

- a) *Solução de fibra detergente ácida (FDA)*: foi misturado em um becker 20 g de brometo-cetil-trimetilamônio e 1 L de ácido sulfúrico 1N, agitando a mistura até a dissolução completa, em seguida a solução foi transferida para um frasco âmbar.
- b) *Solução de fibra detergente neutra (FDN)*: em um becker misturou-se 30 g de sulfato láurico de sódio, 18,61 g de EDTA, 6,81 g de borato de sódio, 4,56 g de fosfato ácido de sódio, 10 mL de 2-metoxietanol e 1 L de água, em seguida agitou-se em agitador magnético até a dissolução completa dos sólidos, transferindo em seguida a mistura para um frasco âmbar).

Após o preparo das soluções, foi adicionado em um balão de fundo redondo 1 g de fibra, 100 mL de FDA e algumas gotas de antiespumante polipropileno glicol P2000, a mistura foi espalhada no balão que ficou acoplado a um condensador por 1 h, após o início da fervura. Após a fervura, a amostra foi lavada 3 vezes com água fervente e filtrada a vácuo na última vez. Em seguida, a amostra presente no filtro de Büchner foi lavada 2 vezes com 30 mL de acetona, transferida para uma cápsula de porcelana (previamente lavada e seca em estufa a 105 °C por 20 min, resfriada em dessecador e pesada), colocada em estufa a 105 °C por 8 h, resfriada em dessecador e pesada.

Utilizou-se o mesmo procedimento com a FDN, sendo adicionado ao balão de fundo redondo no momento da adição da amostra de fibra 0,5 g de sulfito de sódio. O teor de hemicelulose é a diferença da massa entre o resíduo da fibra detergente ácida (FDA) e da fibra detergente neutra (FDN).

#### - Determinação do teor de lignina

Para determinação do teor de lignina, assim como no teor de hemicelulose, foi necessário à preparação das soluções:

- a) *Solução de permanganato de potássio*: foram dissolvidos 50 g de  $\text{KMnO}_4$  em 1 L de água, sob um agitador magnético com temperatura de 30 °C.
- b) *Solução tampão*: em um becker sob um agitador magnético, dissolveu-se 6,0 g de nitrato férrico hidratado e 0,15 g de nitrato de prata em 100 mL de água destilada. Adicionou-se 500 mL de ácido acético glacial, 5 g de acetato de potássio e 40 mL de álcool butil terciário.
- c) *Solução de permanganato de potássio tamponado*: misturou-se a solução de permanganato de potássio e a solução tampão na razão 2:1 v/v. A solução foi colocada em frasco âmbar e guardada em refrigerador.
- d) *Solução de desmineralização*: dissolveu-se 15 g de ácido oxálico diidratado em 200 mL de etanol 95 %. Adicionou-se 15 mL de ácido clorídrico concentrado (12 N) e 75 mL de água destilada. A solução foi colocada em frasco âmbar e guardada em refrigerador.

Posteriormente, foram utilizadas as amostras oxidadas com o detergente ácido (FDA) da análise de hemicelulose. As amostras foram transferidas para beckers de Goochs, que foram colocados em um recipiente com uma camada de 3 cm de água. Aos Goochs foram adicionados 30 mL de solução de permanganato de potássio tamponado e após 15 min foram filtrados sob vácuo. A água do recipiente foi trocada, e os Goochs foram recolocados, repetindo o processo anterior, adicionando o tempo de 90 min e agitação antes da filtração. O procedimento foi repetido novamente, só que a solução que foi adicionada desta vez aos Goochs foi 30 mL da desmineralizadora e o tempo sob agitação antes da filtração foi de 10 min. Após a filtração esta etapa foi efetuada novamente. As amostras nos Goochs foram lavadas com 30 mL de etanol 80 % e duas vezes com 30 mL de acetona, com filtração a vácuo. As amostras foram transferidas para cápsulas de porcelana previamente pesadas em balança analítica. As cápsulas com as amostras foram colocadas em estufa a 100 °C por 8 h, resfriadas em dessecador por 20 min e depois pesadas.

A diferença de massa entra a amostra digerida com detergente ácido (FDA) e a oxidação com ácido acético e permanganato de potássio é o teor de lignina.

#### - Determinação do teor de celulose

As amostras secas da análise de lignina foram colocadas em mufla por 2 h a 500 °C, em seguida resfriadas em um dessecador por 20 min e pesadas em balança analítica. O teor de celulose é a diferença entre a massa da amostra seca e a calcinada.

#### 3.2.5.4 Espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier – FTIR das fibras lignocelulósicas

A análise de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) utilizando a técnica refração total atenuada (ATR) foi realizada em um Parkin Elmer (Spectrum One B.), para cada amostra de fibra foram feitas 32 varreduras na faixa espectral 4000 a 550  $\text{cm}^{-1}$  com uma resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$ .

#### 3.2.6 Caracterização térmica das fibras: análise termogravimétrica - TGA

A caracterização térmica das fibras lignocelulósicas com e sem os tratamentos alcalinos foi realizada pela técnica de análise termogravimétrica – TGA. O ensaio foi conduzido no equipamento Q50 da TA Instruments, sendo as amostras submetidas a um intervalo de temperatura variando de 25 a 650  $^{\circ}\text{C}$ , a 10  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  em atmosfera inerte de nitrogênio.

#### 3.2.7 Confeção das mantas de fibras

Para confecção das mantas de fibras (figura 18) empregadas nos compósitos, foi utilizada uma tela de madeira grande e uma moldura de madeira nas dimensões do molde 300 x 180 mm, onde as fibras após serem misturadas em uma solução aquosa de poli(acetato de vinila) - PVA diluída em água na proporção de 60 g PVA<sub>(aq)</sub>/ 1169 g de água, foram dispersas sobre a moldura de modo a preencher os vazios. Em seguida, a moldura foi retirada, a manta molhada foi pesada e colocada na estufa com circulação de ar a 60  $^{\circ}\text{C}$  por 24 h para secagem. Após a secagem as mantas foram pesadas, constatando o valor de 0,3 g de PVA presente nas mantas de fibras, que foram confeccionadas conforme as amostras descritas no quadro 1.

A definição da quantidade utilizada de fibras para confecção das mantas foi realizada de acordo com suas densidades (açaí e curauá determinadas no item 3.2.) e da fibra de vidro conforme na literatura. Utilizando como padrão o percentual volumétrico de 6,5 % de fibras (sobre o volume resina + fibras) e para as mantas híbridas o equivalente a 50/50 % de fibras.



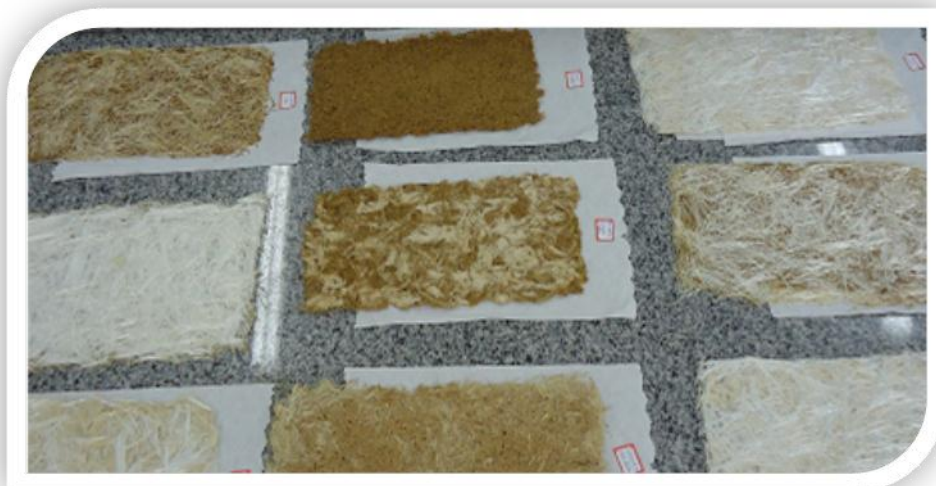


FIGURA 18 – Mantas de fibras secas.

FONTE: A autora (2013)

### 3.2.8 Confeção dos compósitos

Os compósitos foram confeccionados em um molde de aço (300 x 180 mm x 4mm) com auxílio de uma cera desmoldante (TecGlaze –N), no qual metade da solução de resina (150 g) e MEK-P (300 g/3 mL) foi vertida. Em seguida, as mantas de fibras foram impregnadas na resina, sendo que a outra metade da solução foi vertida logo após (figura 19).

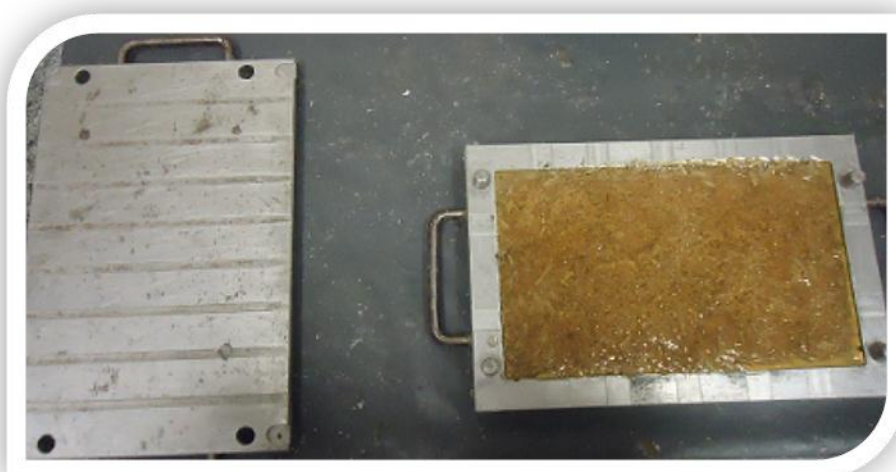


FIGURA 19 – Molde de aço com o compósito antes da cura.

FONTE: A autora (2013)

O molde foi fechado depois de 12 min (*gel time* aproximado da resina que tinha a faixa de 10 – 15 min conforme boletim técnico em anexo) e levado para uma prensa hidráulica da MARCON com capacidade de 30 toneladas (figura 20), onde permaneceu por 10 min submetido a uma pressão de 1,8 MPa.



FIGURA 20 – Molde de aço sendo prensado com o compósito.

FONTE: A autora (2013)

Posteriormente o molde foi colocado em uma estufa a vácuo onde permaneceu durante 2 h à -500 mm/Hg de vácuo e 25 °C para a pré-cura. Depois, o compósito foi desmoldado e o molde foi imediatamente limpo para confecção das outras placas conforme as amostras descritas no quadro 1.

### 3.2.9 Caracterização térmica dos compósitos

O comportamento térmico dos compósitos foi analisado por meio da técnica de análise termogravimétrica – TGA.

#### 3.2.9.1 Análise termogravimétrica – TGA

O ensaio de termogravimetria – TGA dos compósitos, assim como no item 3.2.5.1 foi conduzido no equipamento Q50 da TA Instruments, porém foram submetidos

a uma variação de temperatura de 25 a 800 °C, permanecendo a taxa de aquecimento a 10 °C/min em atmosfera inerte de nitrogênio.

### 3.2.10 Caracterização mecânica dos compósitos

As propriedades mecânicas dos compósitos foram avaliadas por meio dos ensaios de resistência à tração e resistência à flexão.

#### 3.2.10.1 Obtenção dos corpos de prova

Os corpos de prova dos compósitos foram obtidos com auxílio de uma serra de fita e as medidas (espessura de  $4,0 \pm 0,2$  mm, largura de  $10 \pm 2$  mm e comprimento de  $80 \pm 2$  mm) foram tiradas através de um paquímetro digital (Mitutoyo). Posteriormente foram acondicionados seguindo a norma ASTM D618, em um ambiente climatizado a 23 °C ( $\pm 2$  °C) de temperatura e 50 % ( $\pm 5$  %) de umidade relativa do ar por 48 h.

#### 3.2.10.2 Ensaio de resistência à tração

O ensaio de resistência à tração foi realizado de acordo com a norma ASTM D-638 na máquina universal de ensaios – EMIC - DL 10000/700 (figura 21), utilizando cerca de 5 corpos de prova. As condições do teste foram célula de carga de 5000 N, 80 mm de distância entre as barras e velocidade de deslocamento de 10 mm/min. Com objetivo de identificar e realizar a exclusão dos valores afastados da amostra antes de calcular a média e o desvio padrão (DP) das replicatas do ensaio o teste Q (também conhecido como teste de Dixon) foi aplicado, utilizando 95 % de grau de confiança conforme tabelado por Rorabacher (1991).



FIGURA 21 - EMIC - modelo DL 10000/700

FONTE: A autora (2013)

### 3.2.10.3 Ensaio de resistência à flexão

O ensaio de flexão foi realizado conforme a norma ISO 178, na EMIC - DL 10000/700, foram testados 5 corpos de prova pelo método de três pontos seguindo as condições de 5000 N de célula de carga e 10 mm/min de velocidade de deslocamento assim como no item 3.2.9.2. A distância entre as barras foi de 50 mm e o teste Q foi aplicado, assim como no ensaio de tração, com 95 % de nível de confiança.

### 3.2.11 Caracterização morfológica: microscopia eletrônica de varredura – MEV

As amostras foram fixadas em *stubs* com auxílio de fita dupla face e metalizadas superficialmente com ouro-paládio. Em seguida, foram analisadas no microscópio eletrônico de varredura (MEV) modelo JEOL JSM-6360LV.

### 3.2.12 Absorção de água

O ensaio de absorção de água foi realizado, seguindo a norma ASTM D 570 – 98. Os corpos de prova foram colocados em estufa a 50 °C por 24 h, resfriados em dessecador e pesados em balança analítica com aferição 0,0001 g. Posteriormente, as amostras foram colocadas em uma bandeja com água destilada onde permaneceram por 24 h a 23 °C ( $\pm 1$  °C), secas com papel absorvente para retirada de água da superfície da amostra e pesadas novamente. As análises foram realizadas em triplicata para cada tipo de material compósito.

### 3.2.13 Densidade

As medidas de densidade dos compósitos foram realizadas de acordo com a norma ASTM D 2395-93. Em triplicata, as amostras foram pesadas previamente em uma balança analítica e consecutivamente submersas em água destilada dentro uma proveta graduada. Sendo conhecido o valor da densidade da água destilada como 1,0 g/mL em temperatura ambiente, a densidade do compósito ( $\rho_c$ ) é calculada baseando-se na diferença entre a massa da amostra ( $M_s$ ) pelo volume de deslocamento da água ( $V_w$ ) como proposto na equação 7.

$$\rho_c = \frac{M_s}{V_w} \quad (\text{equação 7})$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS

#### 4.1.1 Determinação da densidade aparente das fibras de açaí e curauá

Os valores que foram obtidos no ensaio de densidade aparente das fibras de açaí e curauá são apresentados na tabela 2.

TABELA 2 – Densidade aparente das fibras de açaí e curauá

Fibra	Densidade experimental (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade literatura (g/cm <sup>3</sup> )
Açaí	0,74	1,11 (Lima Junior, 2007)
		0,88 (Siqueira, 2006)
		1,10 (Spinacé <i>et al.</i> , 2009,2011)
Curauá	1,32	1,40 (Zah <i>et al.</i> , 2007 <i>apud</i> Leão <i>et al.</i> , 1998)
		1,56 (Oliveira, <i>et al.</i> , 2004)
Vidro	-	2,54 (Marinucci, 2011 <i>apud</i> Al-Qureshi, 1984)

Segundo Guimarães Junior *et al.*, (2013) o comportamento apresentado pela densidade aparente é influenciado pelos espaços vazios e poros encontrados nas fibras vegetais, diferentemente da densidade real que desconsidera esse volume. Desta forma, são plausíveis as citações de variações de densidade na literatura encontrados para as fibras de açaí e curauá *in natura*.

Os valores das densidades das fibras vegetais são baixos comparados com o valor da densidade da fibra de vidro (2,54 g/cm<sup>3</sup>), apresentando uma alternativa para confecção de materiais mais leves ao se utilizar fibras vegetais.

#### 4.1.2 Determinação da razão de aspecto das fibras

Conforme as medidas realizadas com auxílio do microscópio óptico os valores médios do diâmetro (D), comprimento (L) e razão de aspecto (L/D) das fibras *in natura* e com os tratamentos alcalinos (açai, curauá e vidro) podem ser observados na tabela 3.

TABELA 3 – Medidas de diâmetro, comprimento e razão de aspecto das fibras de açai, curauá e vidro

Fibra	D ( $\mu\text{m}$ )	L ( $\mu\text{m}$ )	L/D	L/D (literatura)
Açai	104	15320	147	142,32 (Lima Junior, 2007)
Açai – 5%NaOH	110	11380	103	
Açai – 5% NaOH + 1% NaBH <sub>4</sub>	76	13270	175	
Curauá	113	20410	181	36 (Araújo, 2009) 167 (Spinacé <i>et al.</i> , 2011)
Curauá – 5% NaOH	92	16150	175	
Curauá – 5% NaOH + 1% NaBH <sub>4</sub>	78	20675	265	
Vidro	37	50000	1351	

Segundo Silva *et al.*, (2013) o aumento da razão de aspecto aumenta a eficiência do reforço e consequentemente melhora as propriedades mecânicas dos compósitos. Considerando as razões de aspecto de 147 para o açai e 181 para o curauá, observa-se uma razão elevada nas fibras de curauá e diferente da encontrada por Araújo (2009) que reporta o valor de  $36 \pm 2$ . Entretanto, Spinacé *et al.*, (2011) apresenta o valor de razão de aspecto de 167, mais próximo do encontrado neste trabalho para as fibras de curauá. De acordo com Lima Junior (2007), o seu estudo obteve o comprimento de 18410  $\mu\text{m}$  para as fibras de açai e a razão de aspecto de 142, valores aproximados aos valores observados para as fibras de açai. Entretanto a variação entre os valores obtidos e os da literatura, pode ser explicada pelo método empregado nas medidas ou pelas características das fibras vegetais.

### 4.1.3 Caracterização química das fibras lignocelulósicas

#### 4.1.3.1 Composição química

As fibras lignocelulósicas apresentam elevadas variações em sua composição química mesmo sendo oriundas da mesma espécie (GOMES *et al.*, 2013 *apud* KOLLMANN e CÔTÉ, 1984). Conforme SANTOS *et al* (2012) os principais componentes são microfibrilas de celulose revestidas por matriz amorfa de lignina e hemiceluloses. Devido ao caráter hidrofílico apresentado pela matriz amorfa que interfere negativamente nas propriedades de adesão fibra-matriz, faz-se necessário o tratamento alcalino que age modificando superficialmente a fibra e com isso alterando sua morfologia (ALBINANTE *et al.*, 2013; MERLINI *et al.*, 2012).

Neste contexto, foram realizados ensaios de caracterização química das fibras de açaí e curauá *in natura*, com tratamento alcalino (5 % NaOH) e com adição de agente protetor ao tratamento (5 % NaOH + 1 % NaBH<sub>4</sub>), com o intuito de verificar as modificações causadas pelo tratamento e associar o seu efeito aos demais ensaios. Os resultados obtidos na caracterização química das fibras de açaí e curauá são exibidos nas tabelas 4 e 5 respectivamente.

TABELA 4 – Caracterização química das fibras de açaí (média/desvio padrão)

Componentes do Açaí (%)	<i>In natura</i> (%)	5 % NaOH (%)	5 % NaOH + 1 % NaBH <sub>4</sub> (%)
Umidade	6,4 ± 0,3	8,5 ± 0,7	7,9 ± 0,2
Cinzas	1,9 ± 0,3	4,6 ± 0,06	3,5 ± 0,2
Hemicelulose	13,9 ± 1,6	10 ± 0,8	9,6 ± 0,7
Lignina	39,1 ± 1,2	30,3 ± 0,9	31,4 ± 0,5
Celulose	27,5 ± 1,4	29,7 ± 0,9	31,2 ± 0,5

\*Valores médios de componentes conforme as triplicatas de cada ensaio

O teor de umidade para a fibra de açaí *in natura* foi de 6,4 % (± 0,3) menor que os valores encontrados na fibra após os tratamentos que foi respectivamente de 8,5 % (± 0,7) e 7,9 % (± 0,2) com 5 % NaOH e com o agente borohidreto. Esses resultados não estão coerentes com a proposta do tratamento alcalino que age através da utilização de bases fortes para romper as hidroxilas livres presentes nas regiões amorfas das fibras



diminuindo assim a absorção de água destas (SANCHEZ *et al.*, 2010 *apud* BLEDZKI e GASSAN, 1999, CARVALHO, 2004).

Houve um aumento significativo no teor de cinzas do açaí após o tratamento alcalino com 5 % NaOH que passou de 1,9 % ( $\pm 0,3$ ) *in natura* para 4,6 % ( $\pm 0,06$ ), comportamento semelhante aos das fibras de piaçava que apresentaram um acréscimo no teor de cinzas, sendo o teor de 1,0 % nas fibras naturais e 6 % nas fibras com tratamento de 10 % NaOH (MIRANDA *et al.*, 2010). O percentual observado na fibra *in natura* (1,9) neste trabalho foi parecido com o encontrado por NAGAISHI (2007) de 1,47 % no caroço do açaí proveniente da *Euterpe oleracea*.

De acordo com MARTINS *et al.*, (2008) as fibras de açaí da palmeira *Euterpe oleracea* apresentam 37 % de hemicelulose, 33 % de lignina e 33 % de celulose. Os resultados apresentados na tabela 4 evidenciam comportamento similar nos teores de lignina e celulose, estando apenas o teor de hemicelulose com valor distante desse resultado. Isso pode ser explicado devido aos componentes presentes nas fibras variarem conforme a espécie da planta, isto é, as condições de cultivo, solo e clima influenciam na composição química da fibra (LEÃO, 2008).

Após o tratamento alcalino parte da hemicelulose e lignina presentes nas fibras são removidas (CAMPOS *et al.*, 2011 *apud* KALIA *et al.*, 2009). Esse comportamento também é observado nas fibras tratadas com NaBH<sub>4</sub> que apresentaram redução de 13,9 para 9,6 % ( $\pm 0,7$ ) na hemicelulose e de 39,1 para 31,4 % ( $\pm 0,5$ ) na lignina.

Conforme ALBINANTE *et al.*, (2013) , inicialmente a celulose se apresenta sua estrutura sob a forma de rede cristalina com regiões amorfas, após a mercerização, ou seja, tratamento com o NaOH, ocorre o enfraquecimento das ligações de hidrogênio presentes na fase amorfa, elevando o intumescimento da celulose e a diminuição do grau de cristalinidade. Consequentemente, os percentuais de celulose encontrados após o tratamento são maiores, como mostra a tabela 4 onde a fibra de açaí apresentou aumento de 27,54 para 29,69 % ( $\pm 0,95$ ) com 5 % NaOH e 31,23 % ( $\pm 0,47$ ) com adição do NaBH<sub>4</sub>. A celulose é o polímero que confere mais resistência às fibras vegetais e, portanto, o aumento do teor de celulose com o tratamento químico teoricamente torna as fibras com maior potencial de reforço para os compósitos.

TABELA 5 – Caracterização química das fibras de curauá (média/desvio padrão)

Componentes do Curauá (%)	<i>In natura</i> (%)	5% NaOH (%)	5% NaOH + 1 % NaBH <sub>4</sub> (%)
Umidade	5,3 ± 0,2	5,5 ± 0,9	5,1 ± 0,2
Cinzas	0,23 ± 0,03	0,9 ± 0,2	0,61 ± 0,05
Hemicelulose	20,2 ± 2,1	7,5 ± 3,2	4,1 ± 3,7
Lignina	4,7 ± 0,9	6,8 ± 2,1	4,2 ± 1,3
Celulose	62,5 ± 0,6	80,6 ± 1,4	83,2 ± 2,9

\*Valores médios de componentes conforme as triplicatas de cada ensaio

Referente à tabela 5, não são observadas mudanças nos teores de umidade para as fibras de curauá após o tratamento alcalino. Silva (2008) em sua tese de doutorado não constatou nenhuma alteração do teor de umidade nos resíduos industriais de celulose provenientes da madeira *Eucaliptus grandis* após a mercerização com percentuais de 1,5 e 10 % de NaOH.

O aumento no teor de cinzas é evidenciado no tratamento com 5 % NaOH que passa de 0,23 % ( $\pm 0,03$ ) para 0,90 % ( $\pm 0,2$ ) situação que também ocorreu nas fibras de açaí. Comparando esses valores com outros trabalhos realizados com a fibra de curauá, contataram-se variações nos teores de cinzas das fibras *in natura* como 0,90% (ARAÚJO, 2009 *apud* LEÃO *et al.*, 2002) e  $0,5 \pm 0,1$  % (CASTRO *et al.*, 2013). Segundo Spinacé *et al.*, (2011) os teores de composição química do curauá variam de acordo com a espécie (roxo ou branco, sendo o branco o utilizado nesse trabalho), local de plantação e período decorrido após a colheita.

Condizente com o pressuposto por ALBINANTE *et al.*, (2013) a hemicelulose sofre solubilização em soluções alcalinas e os resultados comprovam a remoção da hemicelulose após os tratamentos que chegam a 7,5 %,  $\pm 3,2$  com 5 % NaOH e 4,1 %,  $\pm 3,7$  com adição do NaBH<sub>4</sub>, sendo no entanto, esses resultados estatisticamente equivalentes. De acordo com Corrêa *et al.*, (2009) o teor de hemicelulose da fibra de curauá *in natura* foi de 18,31 % e após o tratamento com 5 % de NaOH esse valor passou para 8,13 %, compatível com o resultado apresentado neste trabalho que aponta o valor de hemicelulose da fibra *in natura* como 20,2 %,  $\pm 2,1$ .

Conforme os valores estatísticos apontados na tabela 5, não houve alterações significativas nos teores de lignina mesmo após a mercerização, em desacordo com Oliveira *et al.*, (2013) *apud* Nam *et al.*, (2011) que citam a quantidade de 5 % de NaOH

como a concentração ideal para remoção da lignina e hemicelulose. Todavia, os valores apontados por Corrêa *et al.*, (2009) mostraram pouca diferença no percentual de lignina antes e após o tratamento com 5 % NaOH sendo 9,28 e 8,85 %, respectivamente. Em suma os teores de lignina estão próximos ao encontrado por Castro *et al.*, (2013) nas fibras de curauá *in natura*, isto é, 5,20 %,  $\pm 0,10$ .

O tratamento mostrou-se eficiente no aumento dos teores de celulose, as fibras de curauá sem tratamento apresentaram o valor de 62,5 %,  $\pm 0,6$  aproximado ao de 63,40 %,  $\pm 0,90$  obtido por Castro *et al.*, (2013). Após a mercerização com 5% NaOH e com NaBH<sub>4</sub> os teores obtidos foram de 80,6 %,  $\pm 1,4$  e 83,2 %,  $\pm 2,9$  respectivamente, não havendo mudança considerável nos teores entre os tratamentos. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Corrêa *et al.*, (2009) que indicou a variação de 70,25 % nas fibras sem tratamento para 83,09 % após o tratamento com 5 % de NaOH.

#### 4.1.3.2 Espectroscopia na região de infravermelho – FTIR

A espectroscopia na região do infravermelho é uma técnica amplamente empregada na caracterização de produtos naturais, pois permite identificar os componentes orgânicos da amostra por meio de análise qualitativa (LOPES e FASCIO, 2004).

Os espectros de FTIR das fibras de açaí e curauá *in natura*, tratadas com 5% NaOH e 5% NaOH + 1% NaBH<sub>4</sub> podem ser visualizados nas figuras 22 e 23.

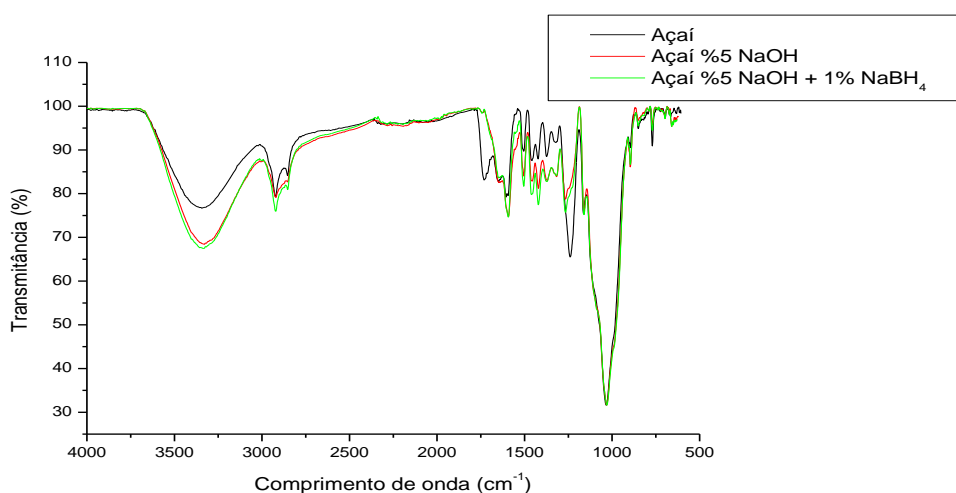


FIGURA 22 – Espectro FTIR das fibras de açaí

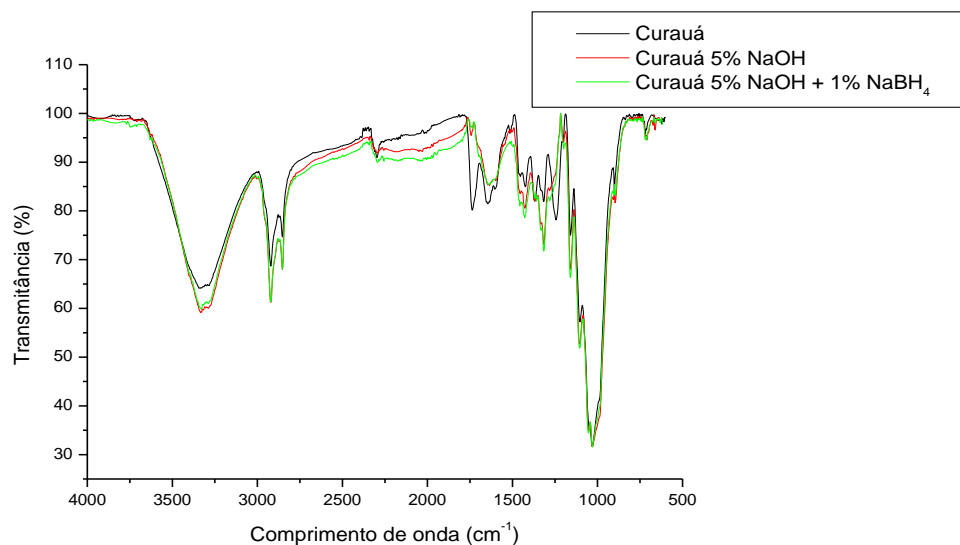


FIGURA 23 – Espectro FTIR das fibras de curauá

Os valores referentes às bandas detectadas nas figuras 22 e 23 são apresentados na tabela 6. As análises dos espectros foram baseadas em materiais existentes na literatura referente a fibras vegetais que possuem composição química semelhante ao açaí e curauá e a fibras submetidas ao tratamento alcalino.

Foram observadas bandas largas na região de  $3350\text{ cm}^{-1}$  (fibras de açaí) e  $3330\text{ cm}^{-1}$  (fibras de curauá) referentes às ligações de hidrogênio da celulose (S. JUNIOR *et al.*, 2010; MERLINI *et al.*, 2012), constatando-se que mesmo após o tratamento alcalino esses componentes não foram afetados (CARDOSO *et al.*, 2013).

As bandas de  $2920 - 2846, 2853\text{ cm}^{-1}$  apontam respectivamente o estiramento do CH alifático proveniente dos grupos metila ( $\text{CH}_3$ ) e metileno ( $\text{CH}_2$ ) (MERLINI *et al.*, 2013).

Ramírez (2011) *apud* Mahato *et al.*, (2009), Brígida *et al.*, (2010) destacam a presença de bandas características da hemicelulose na região de  $1728\text{ cm}^{-1}$  e no presente trabalho a presença do grupo carbonílico ( $\text{C}=\text{O}$ ) natural da hemicelulose é observada nas regiões  $1729$  e  $1736\text{ cm}^{-1}$  para as fibras sem tratamento. A ausência de transmitância das fibras tratadas nessas regiões é explicada pela hemicelulose ser solúvel em baixas concentrações de álcalis promovendo a remoção da mesma. Esse comportamento se repete nas regiões de  $1649$  (curauá) e  $1238\text{ cm}^{-1}$  onde se percebe a diminuição das bandas com tratamento alcalino (MERLINI *et al.*, 2013; SANCHEZ *et al.*, 2010). Esses

resultados estão de acordo com o observado no item 4.1.3.1, em que o percentual de hemicelulose diminui após os tratamentos alcalinos nas fibras de açaí e curauá.

TABELA 6 – Bandas e atribuições das fibras de açaí e curauá

Comprimento de onda (cm <sup>-1</sup> ) Fibra de Açaí	Comprimento de onda (cm <sup>-1</sup> ) Fibra de Curauá	Atribuições das bandas
3350	3330	Estiramento dos grupos hidroxílicos (-OH) na celulose
2920 – 2846	2920-2853	Estiramento do C-H alifático dos grupos metila e metileno
1729	1736	Estiramento dos grupos carbonílicos (C=O) presentes na hemicelulose
-	1649	Estiramento dos grupos carbonílicos (C=O) presentes na lignina
1595	-	Vibrações das ligações C-C no anel aromático da lignina
1507	-	Estiramento das ligações C-C no anel aromático da lignina
1461	1427	Deformação assimétrica do grupo metila da celulose
1413	-	Estiramento dos grupos C-H e C-O da hemicelulose
1373	1373	Estiramento do grupo C-OH da celulose
1319	1319	Deformação angular da hidroxila (-OH) presente no anel aromático da lignina
1238	1238	Estiramento do grupo acetil (-COR) da hemicelulose
1030	1171- 1104 -1030	Estiramento das ligações C-O-C presentes na celulose, hemicelulose e na lignina.

Os picos de 1595 e 1507 cm<sup>-1</sup> encontrados somente nas fibras de açaí, são relacionados às vibrações e estiramento do agrupamento C-C no anel aromático, respectivamente (MERLINI *et al.*, 2012; NETO *et al.*, 2012). A deformação assimétrica do grupo metila da celulose é constatada nos picos 1461 e 1427 cm<sup>-1</sup> (MERLINI *et al.*, 2012).

As fibras de açaí apresentaram uma banda em 1413 cm<sup>-1</sup> referente às ligações dos grupos C-O e C-H da hemicelulose. Ambas as fibras apresentaram a banda de 1373

$\text{cm}^{-1}$  que identifica o estiramento no plano C-OH da celulose cristalina e como a intensidade dessas bandas é baixa não foi evidenciada a modificação na estrutura da celulose (KABIR *et al.*, 2013).

De acordo com S. Junior *et al.*, (2010) a banda de  $1315 \text{ cm}^{-1}$  refere-se a deformação angular na hidroxila presente no anel aromático da lignina conivente com a banda de  $1319 \text{ cm}^{-1}$  encontrada nas fibras de açaí e curauá. Os espectros mostraram elevados picos na região de  $1030 \text{ cm}^{-1}$  atribuídos ao estiramento das ligações C-O-C encontrados nas estruturas de hemicelulose, lignina e celulose (GUTIÉRREZ *et al.*, 2012).

#### 4.1.4 Análise termogravimétrica (TGA) das fibras lignocelulósicas

O desempenho térmico das fibras de açaí e curauá *in natura*, com tratamento alcalino de 5% de NaOH e com adição de 1% de  $\text{NaBH}_4$  ao tratamento pode ser avaliado nas figuras 24 e 25. Consecutivamente, as tabelas 7 e 8 apresentam os percentuais de perda de massa e as temperaturas de degradação representadas em diferentes estágios do aquecimento das fibras de açaí e curauá respectivamente.

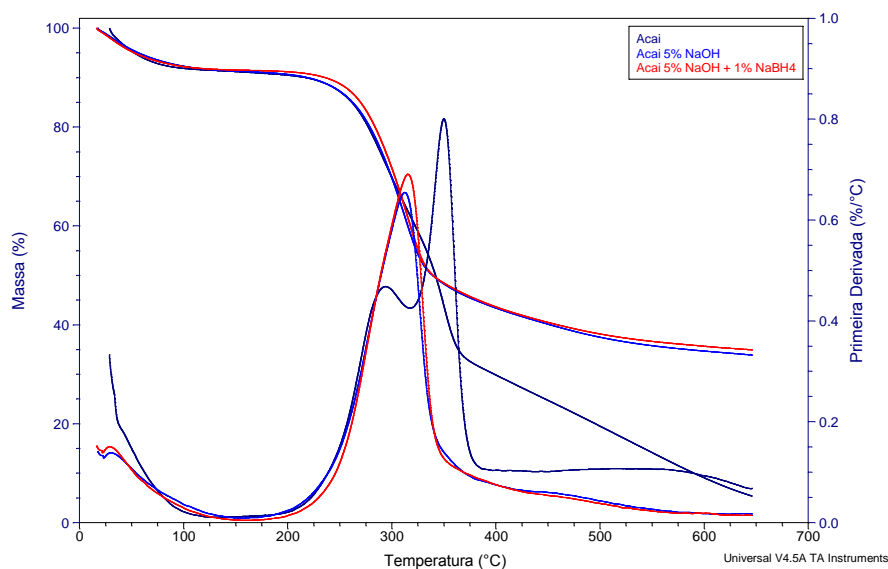


FIGURA 24 – Curvas termogravimétricas das fibras de açaí *in natura* e alcalinizadas

Pelas curvas de TG e DTG (figura 24 e tabela 7) foi possível observar três estágios de degradação para as fibras de açaí *in natura*. Inicialmente, nas proximidades de  $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ocorreu a redução de 8,4 % de massa referente à umidade. No segundo

estágio de degradação ( $T_{\text{onset}2} = 257\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) no qual ocorreu a perda de 30 % de massa que pode ser atribuída ao rompimento das ligações da celulose e início de degradação da hemicelulose. Em  $T_{\text{onset}3} = 338\text{ }^{\circ}\text{C}$  observa-se o terceiro estágio com 31% de perda de massa estando correlacionada com a degradação final da lignina e celulose (MARTINS, *et al.*, 2009). O percentual de resíduo foi de 5,4 % muito próximo da quantidade encontrada por ITO *et al.*, (2007) de 4,8 % para as fibras de açaí provenientes da *Euterpe oleracea*.

TABELA 7 – Temperatura de degradação ( $^{\circ}\text{C}$ ), temperatura máxima de degradação ( $^{\circ}\text{C}$ ), perda de massa (%) e resíduos (%) das fibras de açaí

1° estágio			2° estágio			3° estágio		
Fibras de	Perda de	$T_{\text{onset}2}$	Perda de	$T_{\text{máx}2}$	$T_{\text{onset}3}$	Perda de	$T_{\text{máx}3}$	Resíduo
Açaí	massa (%)	( $^{\circ}\text{C}$ )	massa (%)	( $^{\circ}\text{C}$ )	( $^{\circ}\text{C}$ )	massa (%)	( $^{\circ}\text{C}$ )	(%)
<i>In natura</i>	8,4	257	30,0	294	338	31,0	351	5,4
5% NaOH	8,6	273	47,3	312	-	-	-	33,9
5% NaOH + 1% NaBH <sub>4</sub>	8,2	273	44,9	315	-	-	-	35,0

As fibras submetidas ao tratamento alcalino com 5 % de NaOH e com adição do NaBH<sub>4</sub> indicaram a presença apenas de dois estágios. O primeiro assim como para a fibra *in natura* é relacionado à perda de umidade nos percentuais de 8,6 e 8,2 %. No segundo estágio, foi percebido um aumento de 16 $^{\circ}\text{C}$  na temperatura de degradação ( $T_{\text{onset}2} = 273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) para ambas as fibras tratadas em relação à fibra sem tratamento, evidenciando maior estabilidade térmica das fibras após tratamento. Essa fase percorreu até 312  $^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\text{máx}2}$ ) nas fibras com 5 % de NaOH onde houve variação de 47,3 % de massa e 315  $^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\text{máx}2}$ ) nas fibras com o agente protetor borohidreto que reduziu 44,9 %, sendo esta fase atribuída à decomposição final da celulose, já que com a ausência do terceiro estágio foi constatada a remoção da lignina e da hemicelulose nas fibras tratadas.

O elevado percentual de resíduos observados nas fibras de açaí com tratamento pode ser justificado pela presença de traços de matéria inorgânica que ficou retida no ato do despolpamento e não pode ser retirada totalmente no pré-tratamento das fibras.

As fibras de curauá apresentaram dois estágios de degradação conforme mostram as curvas TG e DTG da figura 25 e os dados da tabela 8.

As fibras *in natura* apresentaram em torno de 80 °C a perda de 5,9 % de massa relacionada à perda de umidade, em seguida em  $T_{\text{onse2}} = 290$  °C ocorreu a degradação dos componentes lignocelulósicos não estruturais (lignina e hemicelulose), reduzindo 65,8 % da massa quando a celulose foi degradada completamente obtendo-se 7,4 % de resíduo (ARAÚJO, 2009; ALMEIDA JUNIOR *et al.*, 2012).

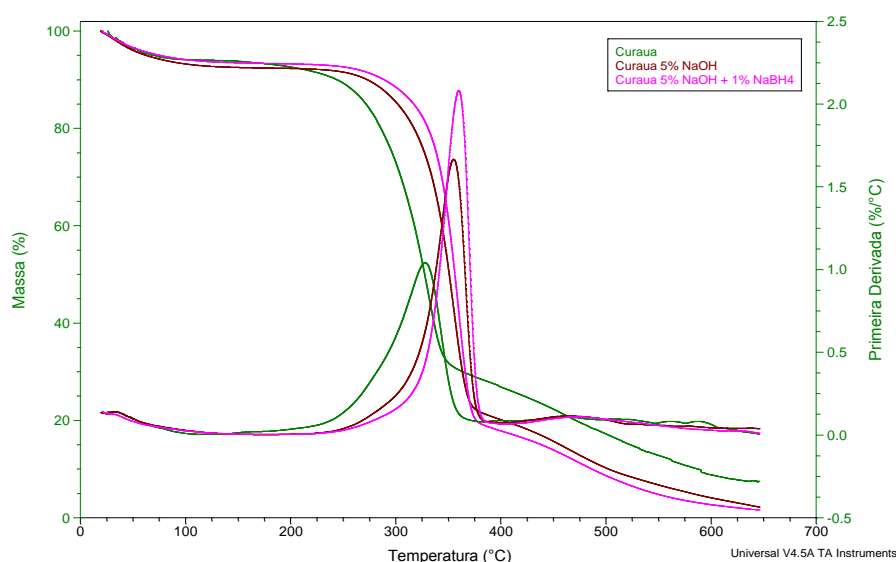


FIGURA 25 – Curvas termogravimétricas das fibras de curauá *in natura* e alcalinizadas

Similar ao comportamento das fibras de açaí, as fibras de curauá tratadas apresentaram significativo aumento na temperatura de degradação ( $T_{\text{onset2}}$ ) correspondendo a 36°C para as fibras com 5 % de NaOH e 46 °C para as com adição do borohidreto de sódio. Ocorreu também o aumento da variação de massa para 72,2 e 75,8 % respectivamente identificando o acréscimo no percentual de celulose das fibras tratadas e destacando a melhoria nas propriedades térmicas devido ao tratamento.

TABELA 8 – Temperatura de degradação (°C), temperatura máxima de degradação (°C), perda de massa (%) e resíduos (%) das fibras de curauá

Fibras de Curauá	1º estágio		2º estágio		
	Perda de massa (%)	$T_{\text{onset2}}$ (°C)	Perda de massa (%)	$T_{\text{máx2}}$ (°C)	Resíduo (%)
<i>In natura</i>	5,9	290	65,8	328	7,4
5% NaOH	7,5	326	72,2	355	2,2
5% NaOH + 1% NaBH <sub>4</sub>	6,4	336	75,8	360	1,6



As temperaturas  $T_{\text{onset2}}$  de 326 e 336 °C e  $T_{\text{máx2}}$  de 355 e 360 °C nas fibras tratadas com 5 % NaOH e com a proteção do  $\text{NaBH}_4$  confirmaram que o borohidreto reduz a agressividade do tratamento alcalino às fibras elevando sua resistência à temperaturas elevadas (MORAES, 2010).

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS

### 4.2.1 Caracterização térmica

#### 4.2.1.1 Análise termogravimétrica – TGA

O comportamento térmico dos compósitos com matriz de resina poliéster insaturado reforçados por fibras lignocelulósicas de açai e curauá (submetidas ou não ao tratamento alcalino e com agente protetor) e com fibras de vidro foi avaliado por meio da análise termogravimétrica (TGA).

Objetivando organizar as curvas TG e DTG as figuras estão divididas em: resina e compósito reforçado com fibra de vidro (figuras 26 e 27), compósitos reforçados com açai (figuras 28 e 29), compósitos reforçados com curauá (figuras 30 e 31), compósitos híbridos reforçados com açai e curauá (figuras 32 e 33), compósitos híbridos reforçados com açai e vidro (figuras 34 e 35) e compósitos híbridos reforçados com curauá e vidro (figuras 36 e 37). Na sequência, os valores de TG e DTG são apresentados na tabela 9.

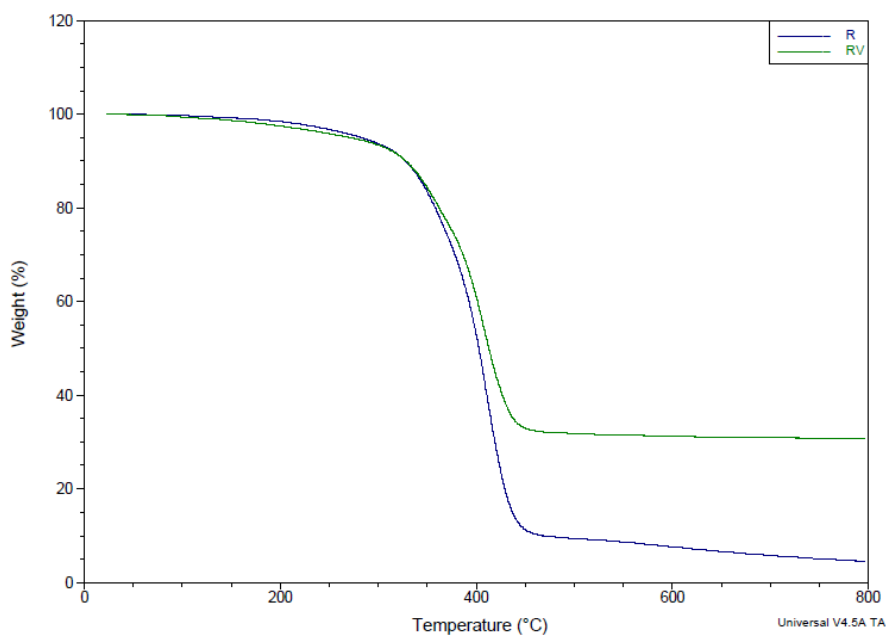


FIGURA 26 – Curvas de TG da resina poliéster (R) e do compósito de fibra de vidro (RV)

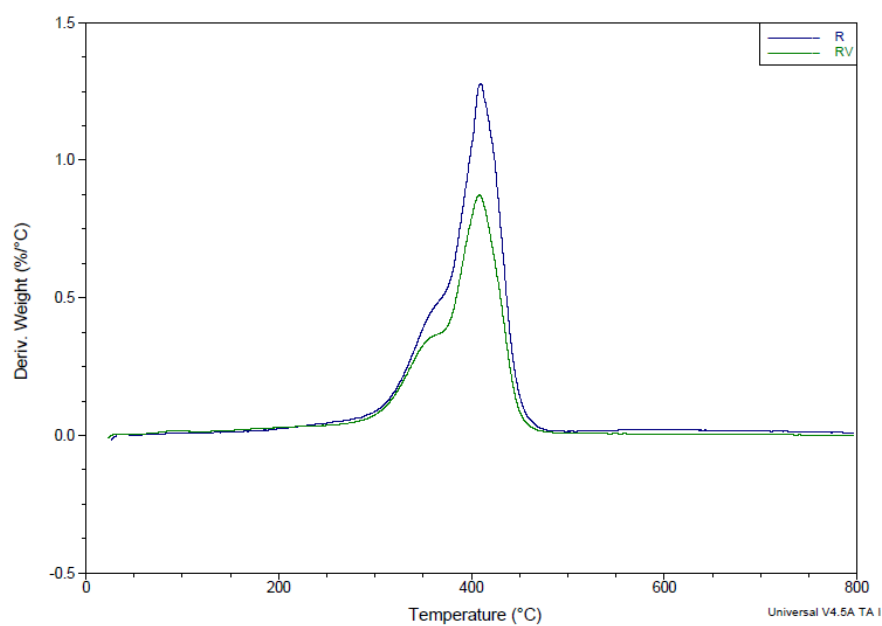


FIGURA 27 – Curvas de DTG da resina poliéster (R) e do compósito de fibra de vidro (RV)

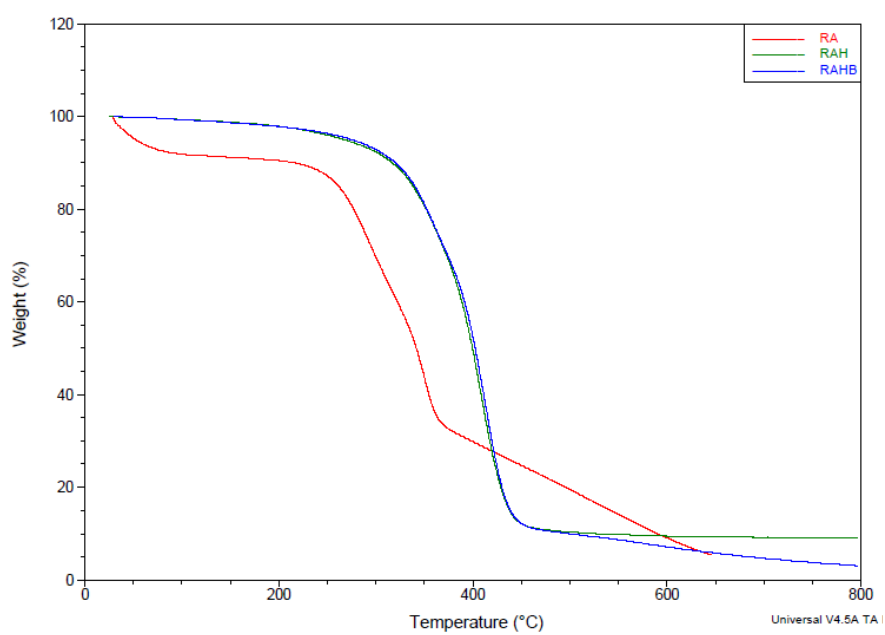


FIGURA 28 – Curvas de TG dos compósitos reforçados com fibras de açaí *in natura* e tratadas (RA, RAH e RAHB)

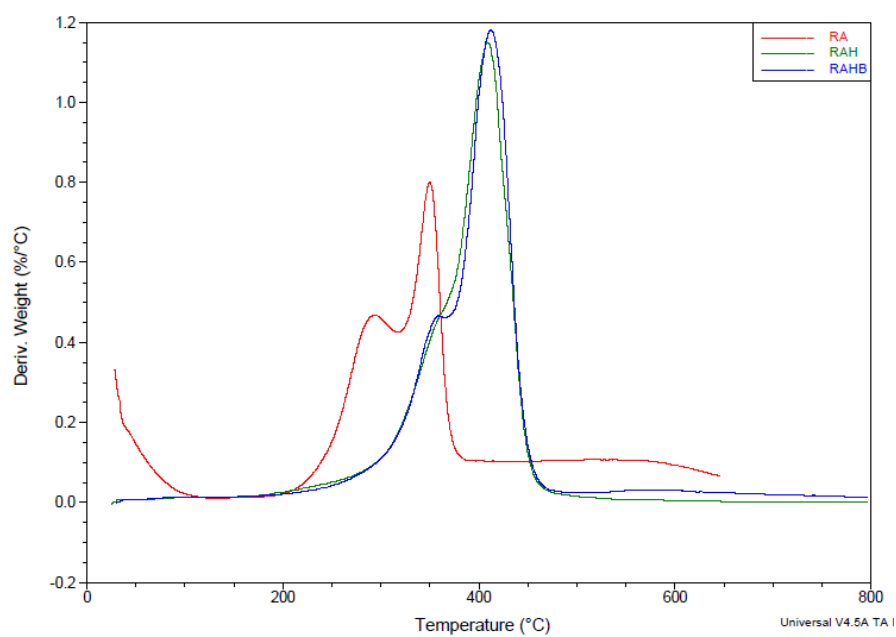


FIGURA 29 – Curvas de DTG dos compósitos reforçados com fibras de aço *in natura* e tratadas (RA, RAH e RAHB)

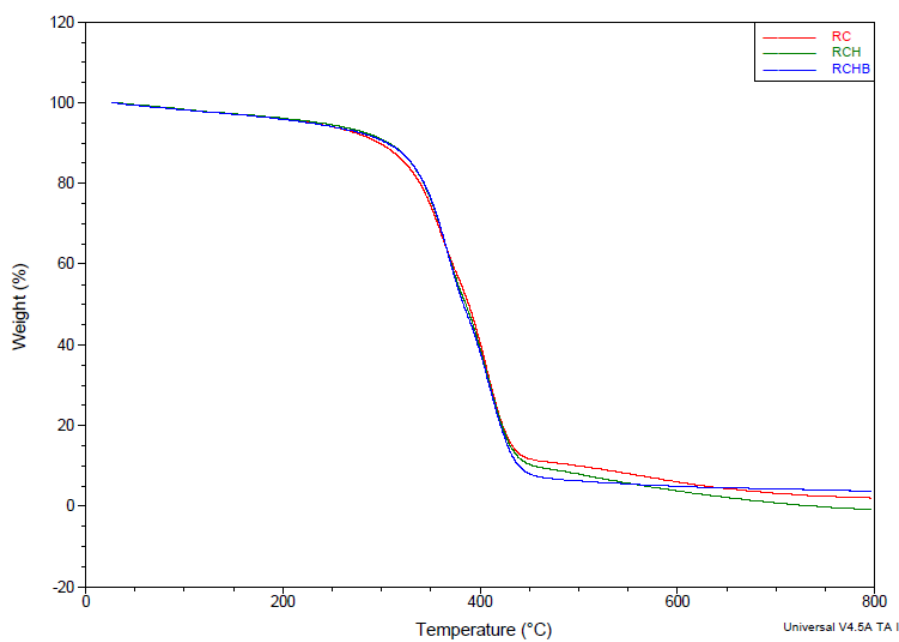


FIGURA 30 – Curvas de TG dos compósitos reforçados com fibras de curauá *in natura* e tratadas (RC, RCH e RCHB)

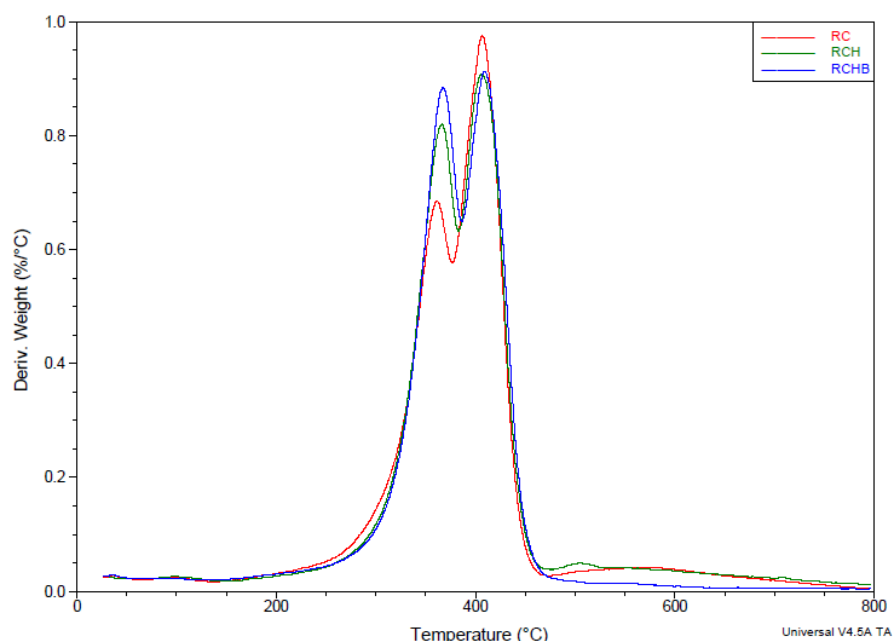


FIGURA 31 – Curvas de DTG dos compósitos reforçados com fibras de curauá *in natura* e tratadas (RC, RCH e RCHB)

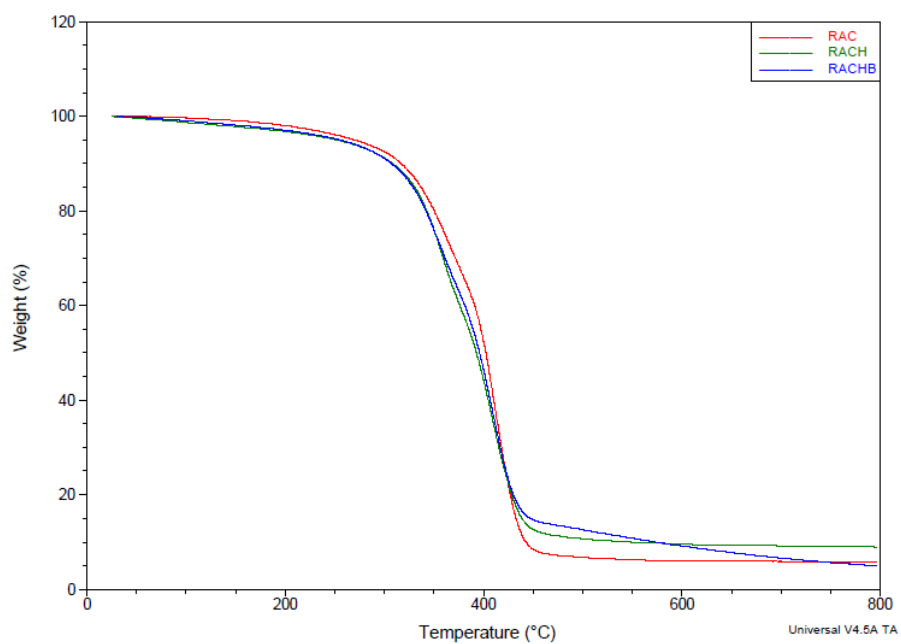


FIGURA 32 – Curvas de TG dos compósitos híbridos reforçados com fibras de açaí e curauá *in natura* e tratadas (RAC, RACH e RACHB)

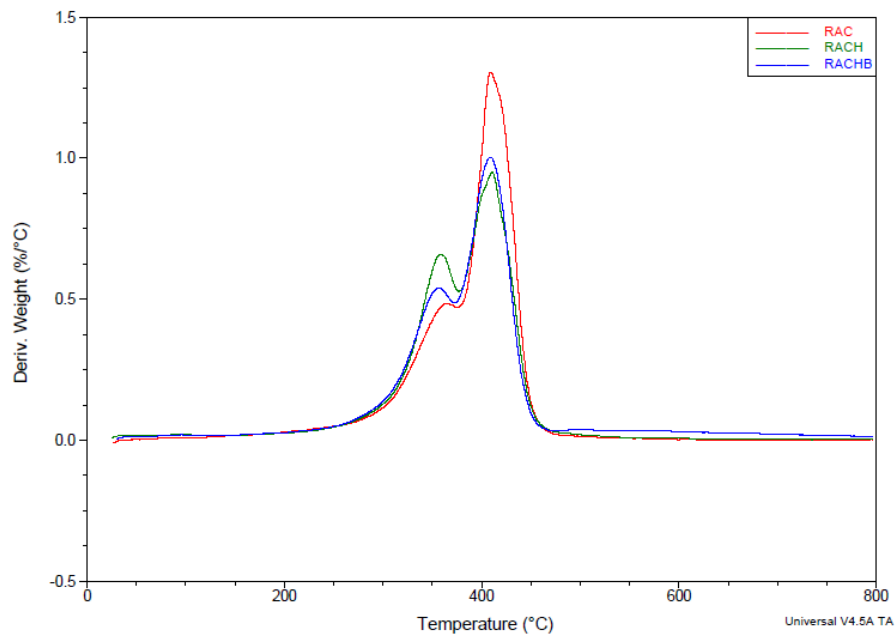


FIGURA 33 – Curvas de DTG dos compósitos híbridos reforçados com fibras de aço e curauá *in natura* e tratadas (RAC, RACH e RACHB)

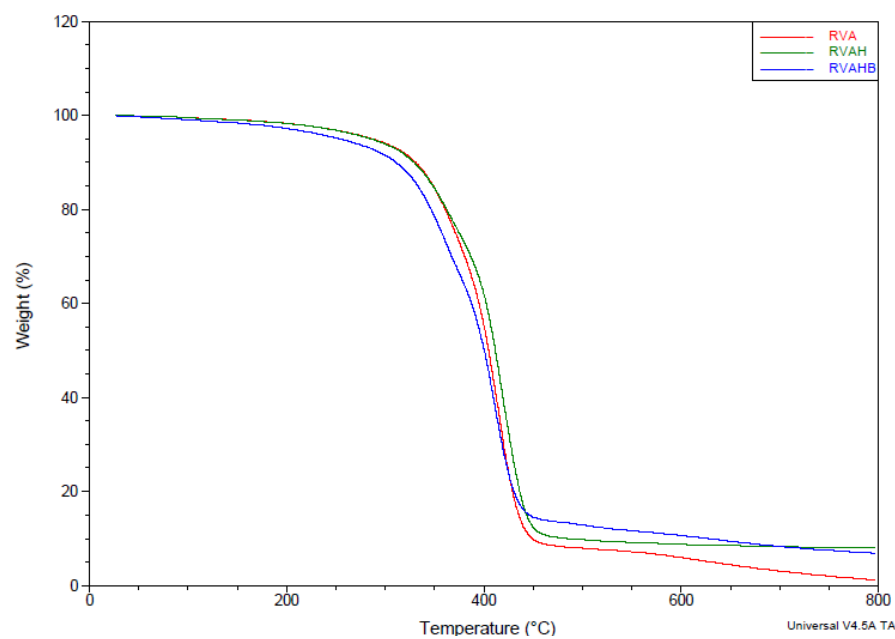


FIGURA 34– Curvas de TG dos compósitos híbridos reforçados com fibras de vidro e açai *in natura* e tratadas (RVA, RVAH e RVAHB)

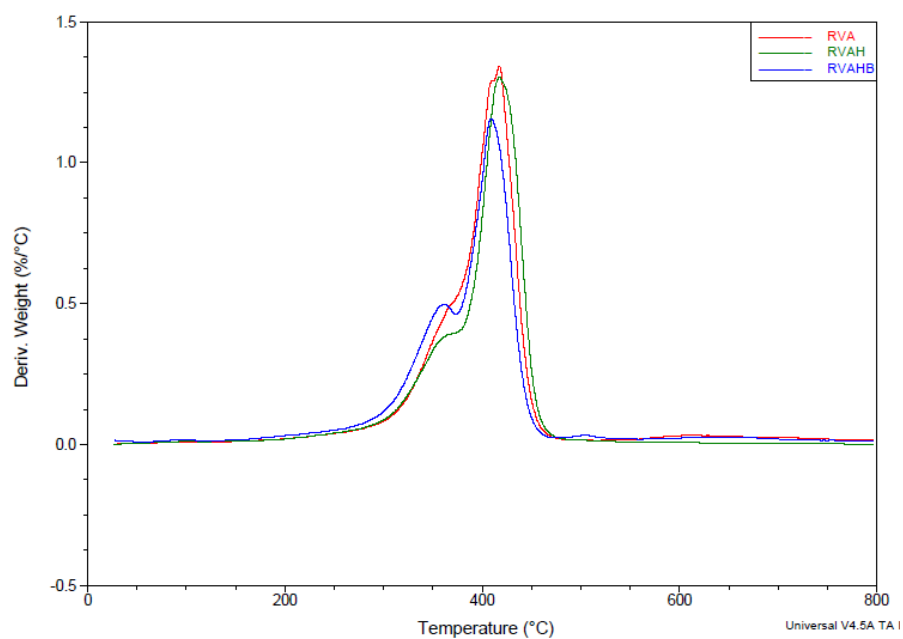


FIGURA 35– Curvas de DTG dos compósitos híbridos reforçados com fibras de vidro e açaí *in natura* e tratadas (RVA, RVAH e RVAHB)

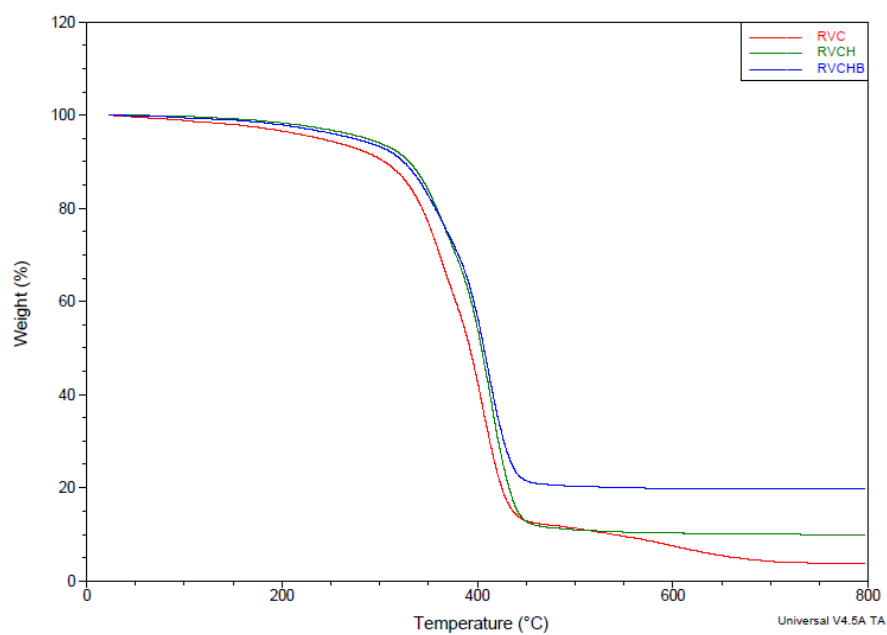


FIGURA 36– Curvas de TG dos compósitos híbridos reforçados com fibras de vidro e curauá *in natura* e tratadas (RVC, RVCH e RVCHB)

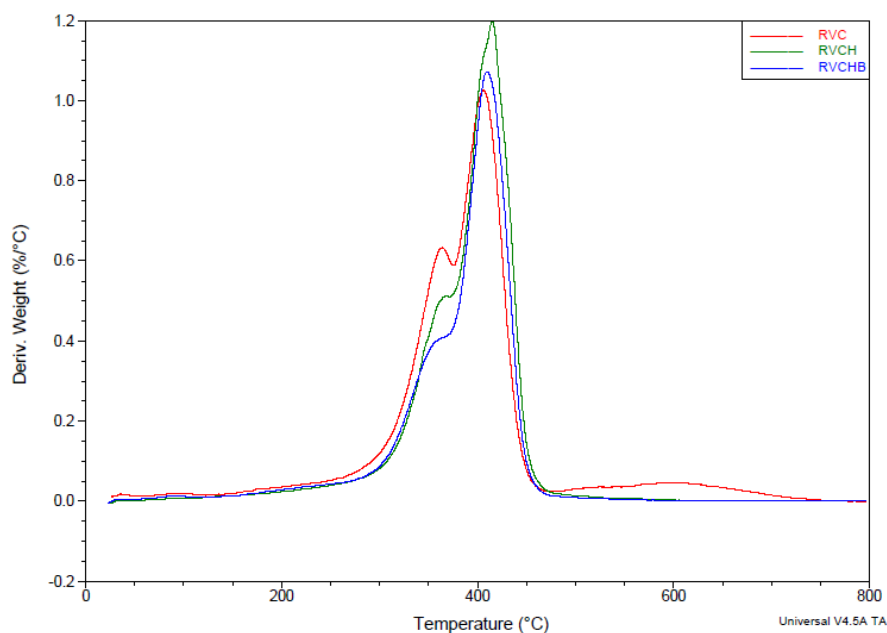


FIGURA 37– Curvas de DTG dos compósitos híbridos reforçados com fibras de vidro e curauá *in natura* e tratadas (RVC, RVCH e RVCHB)

TABELA 9 – Temperatura de degradação (°C), temperatura máxima de degradação (°C), perda de massa (%) e resíduos (%) da resina e dos compósitos

	1º estágio		2º estágio		3º estágio			
Compósitos	Perda de massa (%)	T <sub>onset2</sub> (°C)	Perda de massa (%)	T <sub>máx2</sub> (°C)	T <sub>onset3</sub> (°C)	Perda de massa (%)	T <sub>máx3</sub> (°C)	Resíduo (%)
de açaí								
R	-	366	90,7	410	-	-	-	4,8
RA	8,9	257	29,2	287	338	55,9	351	5,4
RAH	-	327	27,4	356	389	63,6	410	9,0
RAHB	-	323	27,1	357	393	69,8	414	3,1
RC	2,6	322	40,2	358	393	46,0	408	2,1
RCH	2,7	331	45,7	363	394	42,7	410	0
RCHB	2,5	333	49,9	366	398	41,9	413	3,8
RAC	2,0	318	30,5	362	396	61,7	408	5,8
RACH	3,2	321	37,6	358	394	50,2	411	8,9
RACHB	3,0	304	33,1	352	393	58,9	410	5,0
RV	4,0	324	19,2	357	389	46,0	409	30,8
RVA	1,7	331	26,3	365	397	70,8	419	1,2
RVAH	1,7	325	24,4	355	401	65,9	418	8,0
RVAHB	2,6	326	30,6	357	395	59,7	410	6,9
RVC	3,4	317	35,6	362	391	57,2	408	3,8
RVCH	1,7	332	26,2	363	394	62,2	416	9,9
RVCHB	2,0	326	23,7	357	393	54,5	412	19,7

A análise da resina poliéster curada (R) foi empregada com o intuito de comparar seu comportamento com os compósitos. Os resultados mostraram que não houve o primeiro estágio de degradação referente à perda de umidade, justificado o caráter hidrofóbico da resina (SANCHEZ *et al.*, 2010). Apenas ocorreu o evento do segundo estágio, em  $T_{\text{onset2}} = 366\text{ }^{\circ}\text{C}$ , na qual foi constatada a perda de 90,7 % de massa restando 4,8 % de resíduos. Não houve, portanto, a fase de degradação do estireno em  $174,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  constatada por Farina *et al.*, 2012 que apresentou temperaturas de  $322,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  em  $T_{\text{onset2}}$  e  $418,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  em  $T_{\text{máx2}}$  na resina poliéster utilizada em seu trabalho.

É possível observar na tabela 9 que somente no compósito RA houve perda de massa no primeiro estágio no valor de 8,9 % referente à umidade presente nas fibras de açaí sem tratamento. É notável também o aumento da resistência térmica dos compósitos com tratamento alcalino, sendo que, nos compósitos RAH e RAHB, observam-se no segundo estágio, as temperaturas de degradação em  $327\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $323\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\text{onset2}}$ ) respectivamente, em relação ao RA que teve o  $T_{\text{onset2}}$  em  $257\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Foram observados comportamentos similares entre os compósitos reforçados com as fibras de curauá. Constatando-se um aumento de 9 e  $11\text{ }^{\circ}\text{C}$  no com temperatura de degradação ( $T_{\text{onset2}}$ ) e de 5,5 e 9,7 % nas perdas de massa nos tratamentos de 5% de NaOH (RCH) e com o agente borohidreto (RCHB) respectivamente. As temperaturas máximas alcançadas no terceiro estágio ( $T_{\text{máx3}}$ ) também apresentaram comportamento parecido, havendo pouco acréscimo nas temperaturas que foram de  $410^{\circ}\text{C}$  para RCH e  $413^{\circ}\text{C}$  para RCHB, quando comparadas aos  $408^{\circ}\text{C}$  atingidos por RC.

Nos compósitos híbridos de açaí e curauá, constatou-se um comportamento inesperado, pois os compósitos puros tratados com o borohidreto de sódio (RAHB e RCHB) apresentaram um aumento das temperaturas de degradação em relação aos compósitos sem tratamento, o que não ocorreu no híbrido RACHB (que teve o início de decaimento da curva em  $304\text{ }^{\circ}\text{C}$  enquanto no RAC foi de  $318\text{ }^{\circ}\text{C}$  no  $T_{\text{onset2}}$ ). Nesse mesmo estágio a temperatura máxima alcançada ( $T_{\text{máx2}}$ ) foi  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  mais elevada em RAC do que em RACHB. Sendo que a perda de massa referida a esse intervalo apresentou-se de maneira contrária, o RACHB teve uma perda de 33,1 %, 2,6 % maior que do RAC. No entanto no compósito híbrido tratado somente com 5 % de NaOH (RACH) observou-se um aumento de  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  no  $T_{\text{onset2}}$  referente ao compósito RAC, sendo assim, ainda é possível afirmar a efetividade do tratamento alcalino na melhoria das propriedades térmicas de compósitos reforçados com fibras vegetais.



Nota-se que as temperaturas de início de degradação ( $T_{\text{onset}2}$ ) permaneceram estáveis em RV, RVAH e RVAHB. Contudo o compósito RVA contraditoriamente apresentou o maior valor de  $T_{\text{onset}2}$ , com valor de 331 °C. Esse resultado pode ser justificado pela concentração de fibra de vidro na amostra ser mais elevada que as de fibras de açaí.

No compósito de vidro puro (RV) destacou-se um valor mais destoante no percentual de resíduos (30,8 %). De acordo com Pessanha *et al.*, (2008) esse valor pode estar associado à carga inorgânica presente na fibra de vidro.

Os resultados obtidos dos compósitos híbridos com vidro e curauá ao contrário do observado nos compósitos com açaí apresentaram um melhor desempenho térmico nos compósitos com tratamentos alcalinos RVCH e RVCHB em relação à RVC no segundo estágio, constatado pelas temperaturas de  $T_{\text{onset}2}$ .

#### 4.2.2 Caracterização mecânica

##### 4.2.2.1 Ensaio de resistência à tração

As propriedades de tração obtidas nos ensaios mecânicos dos compósitos são apresentadas nas figuras 38 e 39 e na tabela 10.

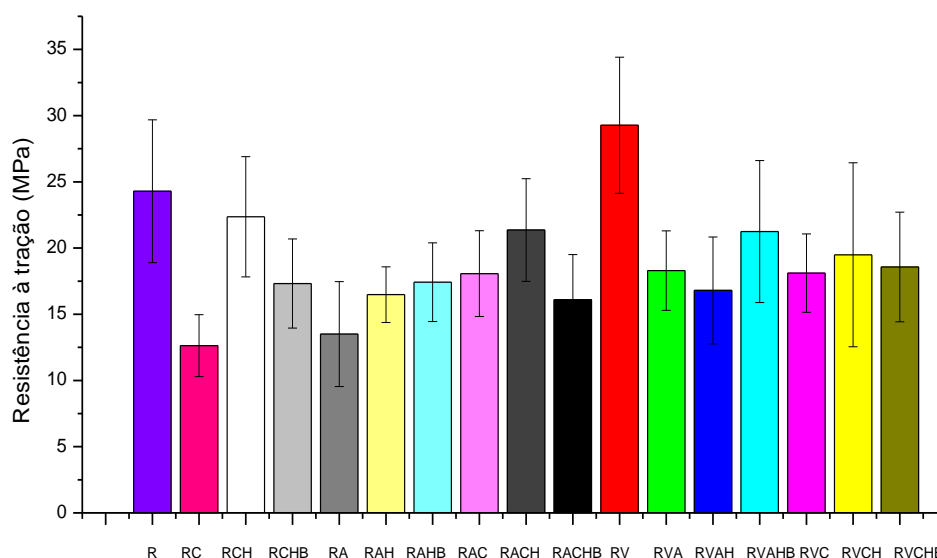


FIGURA 38 - Resistência à tração dos compósitos

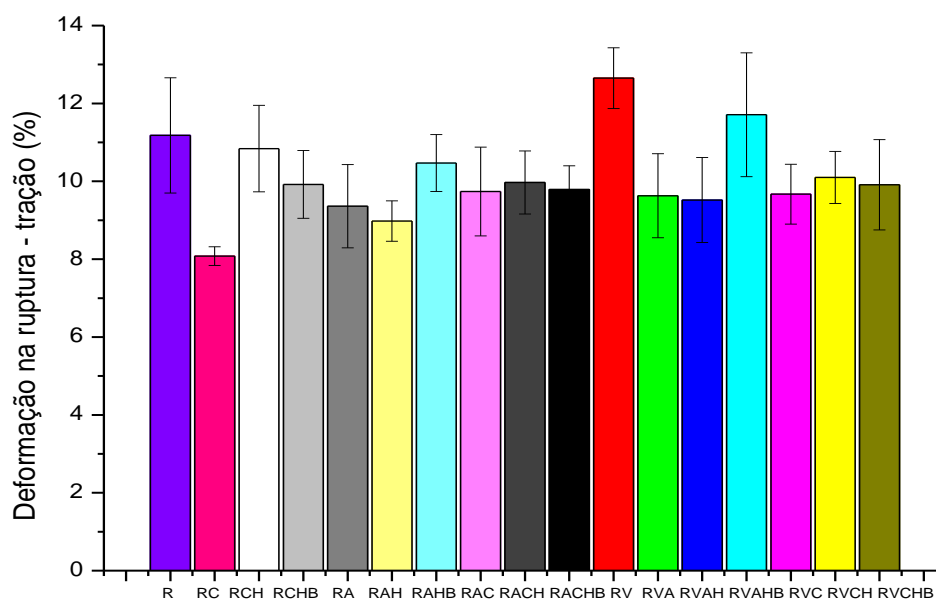


FIGURA 39 - Deformação na ruptura em tração dos compósitos

TABELA 10 – Propriedades em tração dos compósitos: resistência à tração (MPa) e deformação na ruptura (%)

Compósitos	Resistência à tração (MPa)	Deformação na ruptura (%)
R	24 ± 5	11 ± 1,5
RA	13 ± 4	9 ± 1,1
RAH	16 ± 2	9 ± 0,5
RAHB	17 ± 3	10 ± 0,7
RC	13 ± 2	8 ± 0,2
RCH	22 ± 4	11 ± 1,1
RCHB	17 ± 3	10 ± 0,9
RAC	18 ± 3	10 ± 1,1
RACH	21 ± 4	10 ± 0,8
RACHB	16 ± 3	10 ± 0,6
RV	29 ± 5	13 ± 0,8
RVA	18 ± 3	10 ± 1,1
RVAH	17 ± 4	9 ± 1,1
RVAHB	21 ± 5	12 ± 1,6
RVC	18 ± 3	10 ± 0,8
RVCH	19 ± 7	10 ± 0,7
RVCHB	19 ± 4	10 ± 1,2

A partir dos resultados encontrados na figura 38, foram constatados valores de resistência à tração dos compósitos RC, RA e RAH mais baixos do que na resina pura, constatando-se que nesse caso as fibras não apresentaram comportamento de reforço, agiram como carga, não proporcionando melhorias nas propriedades mecânicas dos compósitos. A resistência à tração de materiais compósitos constituídos por reforços fibrosos depende, de alguns fatores, tais como, resistência mecânica, orientação, teor e comprimento das fibras, além da estabilidade química da matriz e da interface fibra-matriz (CARVALHO e CAVALCANTI, 2006).

É importante ressaltar que devido ao fato dos corpos de prova serem provenientes de uma placa com as fibras dispostas de modo aleatório, a composição e proporção de fibras/resina não é homogênea, justificando assim consideráveis elevações nas taxas de desvio padrão (DP).

Segundo Mothé e Araujo (2004) compósitos de poliuretano (PU) /curauá com 5, 10 e 20 % de curauá apresentaram resistência à tração inferior ao PU puro (24,2 MPa), e o valor de 14,7 MPa com 5 % de fibra, sendo comparável com os  $13 \pm 2$  MPa apresentado pelo RC com 6,5 % de volume teórico.

Conforme os resultados de Costa *et al.*, (2012a) a resina poliéster ortoftálica pura apresentou resistência à tração de 37,87 ( $\pm 2,24$ ) MPa e os compósitos de poliéster/15,5 % de pó de açaí e poliéster/25 % de pó de açaí apresentaram os respectivos valores de resistência à tração, 18,27 ( $\pm 0,49$ ) e 18,87 ( $\pm 1,21$ ) MPa, mostrando que o aumento no volume de fibras de açaí foi indiferente em relação à resistência. Observou-se comportamento similar ao encontrado neste trabalho, na diminuição da tensão máxima de deformação dos compósitos RA em relação a R.

Foi observado que os compósitos puros reforçados com as fibras lignocelulósicas açaí e curauá com e sem tratamento alcalino apresentaram resultados semelhantes estatisticamente com os compósitos híbridos de fibras vegetais e vidro. De acordo com Angrizani (2011) *apud* Jawaid *et al.*, (2011) essa semelhança deve-se ao fato de que a fibra de menor resistência mecânica se encontra na superfície do compósito. Já Costa *et al.*, (2012b) que em seu trabalho apresentou a resistência de 14,97 MPa em poliéster/12,5 % de pó de açaí e 13,51 MPa em poliéster/12,5 % de pó de açaí + 7,41 % de fibras de sisal, justificou que as fibras de sisal de 5 mm foram pouco efetivas no reforço do compósitos e atuou como ponto nucleador de vazios, o motivo para os compósitos híbridos terem o desempenho próximo do apresentado pelos compósitos reforçados somente com carga de açaí.

Em alguns compósitos híbridos com o vidro (RVA, RVAH, RVC e RVCHB) notou-se uma diminuição da resistência à tração com a incorporação das fibras vegetais em relação ao RV. De acordo com Silva (2010) essa diminuição pode ser atribuída às propriedades inferiores das fibras vegetais e também ao baixo acoplamento dessas fibras com a matriz de poliéster. O compósito RVA apresentou a tensão de deformação máxima na ruptura ( $18 \pm 3$  MPa) muito próxima ao de  $19,22 \pm 2,83$  MPa encontrada por Brandão *et al.*, (2012) em compósitos de poliéster/ 19 % vidro + 13 % fibra de açaí.

Contudo os compósitos RCH, RACH, RVAHB e RVCH apresentaram resultados similares ao RV reforçando e assim, mostra a importância do tratamento alcalino na melhoria da adesão nos compósitos. É possível associar esse comportamento ao aumento do percentual de celulose em ambas as fibras após os tratamentos alcalinos (item 4.1.31). No entanto, nesse trabalho, as fibras desempenharam a função de carga (não exibiram propriedades de reforço mecânico), pois os compósitos mostraram resistência equivalente ou inferior à resina pura, fator que pode ser atribuído a vazios presentes nos corpos de prova, além destes terem sido confeccionados com as fibras dispersas, não havendo assim homogeneidade na composição fibras/matriz.

Observa-se na figura 39 que a deformação na ruptura do compósito RC é menor que da resina pura (R). Conforme Merlini e colaboradores (2012) a deformação na ruptura em compósitos de matriz epóxi reforçados com fibras de juta diminui com a adição das fibras *in natura* e com tratamento alcalino, e esse fato é atribuído às fibras possuírem menor deformação e maior rigidez do que a matriz polimérica.

É notado um aumento nos valores de deformação dos compósitos RCH ( $11 \pm 1,1$  %) e RCHB ( $10 \pm 0,9$  %) em relação ao RC ( $8 \pm 0,2$ %) mostrando que os tratamentos alcalinos foram efetivos na deformação dos compósitos de curauá.

Segundo Joseph *et al.*, (1999) *apud* Fujii (1975) a tenacidade dos compósitos reforçados com fibras lignocelulósicas depende principalmente do desempenho tensão-deformação da fibra. Fibras mais resistentes e com maior deformação na ruptura aumentam o trabalho de fratura desses materiais.

Em comparação com o compósito RV somente o RCH e RVAHB mostraram equivalência. De acordo com Carvalho e Cavalcanti (2006) o aumento da tenacidade dos compósitos com vidro é atribuída à melhor molhabilidade dessas fibras pela matriz, devido ao tratamento superficial a que são submetidas.

#### 4.2.2.2 Ensaio de resistência à flexão

As figuras 40 e 41 e a tabela 11 apresentam as propriedades de flexão (resistência à flexão e módulo de elasticidade) encontradas nos ensaios mecânicos.

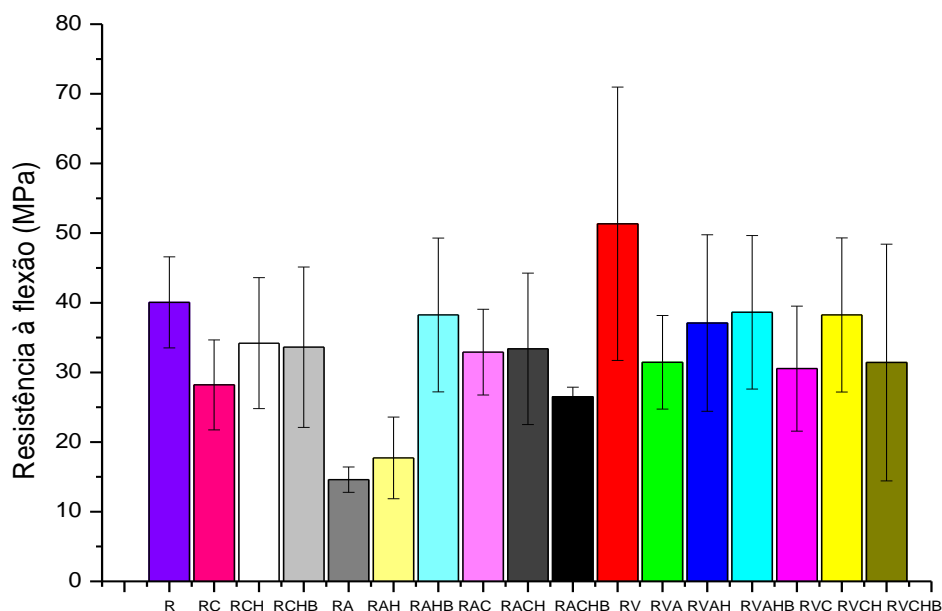


FIGURA 40 - Resistência à flexão dos compósitos

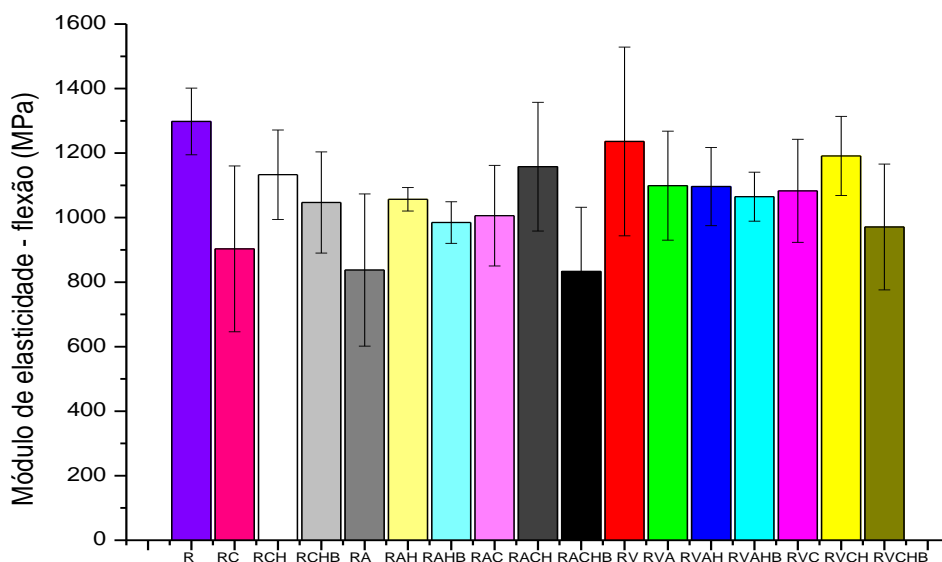


FIGURA 41 - Módulo de elasticidade em flexão dos compósitos

A resistência à flexão é associada à eficiência do material de resistir à força de dobragem aplicada perpendicularmente ao seu eixo longitudinal (CASTRO *et al.*, 2013).

Na figura 40 é possível observar que os compósitos RA, RAH e RACHB possuem valores de resistência inferiores a R e ao compósito RV. Segundo Monteiro *et al.*, (2006) que encontrou  $47,0 \pm 15,2$  MPa de resistência à flexão em compósitos de matriz poliéster ortoftálica reforçada com 5 % em massa de fibras contínuas e alinhadas de curauá, superior ao valor da resina pura que foi de  $41,4 \pm 6,9$  MPa (parecido com o  $40 \pm 6$  MPa de R), a razão para o aumento da resistência com a incorporação de fibras longas em comparação com as fibras curtas, se deve a predisposição desses compósitos transferirem esforços aplicados sobre a matriz continuamente para as fibras.

TABELA 11 – Propriedades em flexão dos compósitos: resistência à flexão (MPa), deformação na ruptura (mm) e módulo de elasticidade (MPa)

Compósitos	Resistência à flexão (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)
R	$40 \pm 6$	$1298 \pm 103$
RA	$15 \pm 2$	$837 \pm 236$
RAH	$18 \pm 6$	$1057 \pm 36$
RAHB	$38 \pm 11$	$985 \pm 64$
RC	$28 \pm 6$	$903 \pm 257$
RCH	$34 \pm 9$	$1133 \pm 138$
RCHB	$34 \pm 11$	$1047 \pm 157$
RAC	$33 \pm 6$	$1006 \pm 156$
RACH	$33 \pm 11$	$1158 \pm 199$
RACHB	$26 \pm 1$	$833 \pm 199$
RV	$51 \pm 20$	$1236 \pm 292$
RVA	$31 \pm 7$	$1099 \pm 169$
RVAH	$37 \pm 13$	$1096 \pm 121$
RVAHB	$39 \pm 11$	$1065 \pm 76$
RVC	$30 \pm 9$	$1083 \pm 160$
RVCH	$38 \pm 11$	$1191 \pm 122$
RVCHB	$31 \pm 17$	$971 \pm 195$

Também é observado o aumento da resistência no compósito RAHB ( $38 \pm 11$  MPa) em comparação com RA ( $15 \pm 2$  MPa) e RAH ( $18 \pm 6$  MPa). Esse resultado indica que o  $\text{NaBH}_4$  foi efetivo no aumento de resistência dos compósitos reforçados com açai.

Os outros compósitos apresentaram equivalência estatística, não havendo possibilidade de visualizar modificações de resistência, isso pode ser justificado pela disposição das fibras nesse trabalho se encontrarem de modo disperso e aleatório. De acordo com Angrizani (2011) compósitos híbridos (laminados de vidro/curauá) com fibras lignocelulósicas na superfície exibiram resultados semelhantes e inferiores ao compósito contendo somente curauá. A resistência à flexão é controlada pela resistência da camada externa do reforço, dessa forma, compósitos contendo fibras sintéticas nas superfícies apresentam valores maiores nessa propriedade (ANGRIZANI *apud* GOWDA *et al.*, 1999).

A figura 41 apresenta os resultados de módulo de elasticidade dos compósitos obtidos no ensaio de flexão. Constatou-se que grande parte dos compósitos (RC, RA, RAH, RAHB, RAC, RACHB, RVAHB e RVCHB) exibiram valores de módulo inferiores ao da resina pura (R), no entanto apresentaram equivalência com os outros compósitos inclusive com o reforçado somente com fibra de vidro (RV).

O módulo de elasticidade é uma propriedade aditiva, dessa forma, quanto maior o percentual de fibras, linearmente o valor do módulo será aumentado (ARAÚJO, 2009). De acordo com Joseph *et al.*, (1999) o módulo de compósitos com fibras curtas, depende primordialmente da eficácia da transferência de tensões, influenciada pelo comprimento do reforço e da magnitude das interações entre a fibra e a matriz. Nesse trabalho não foi possível observar essa mudança devido ao volume das fibras nos compósitos ser baixo (apenas 6,5 %) assim como seu baixo comprimento (máximo de 25 mm para as fibras de vidro).

#### 4.2.3 Caracterização morfológica: Microscopia eletrônica de varredura – MEV

As micrografias dos compósitos obtidas no ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas na região de fratura de amostras resultantes do ensaio de resistência à tração e estão apresentadas nas figuras 42, 43, 44, 45 e 46.

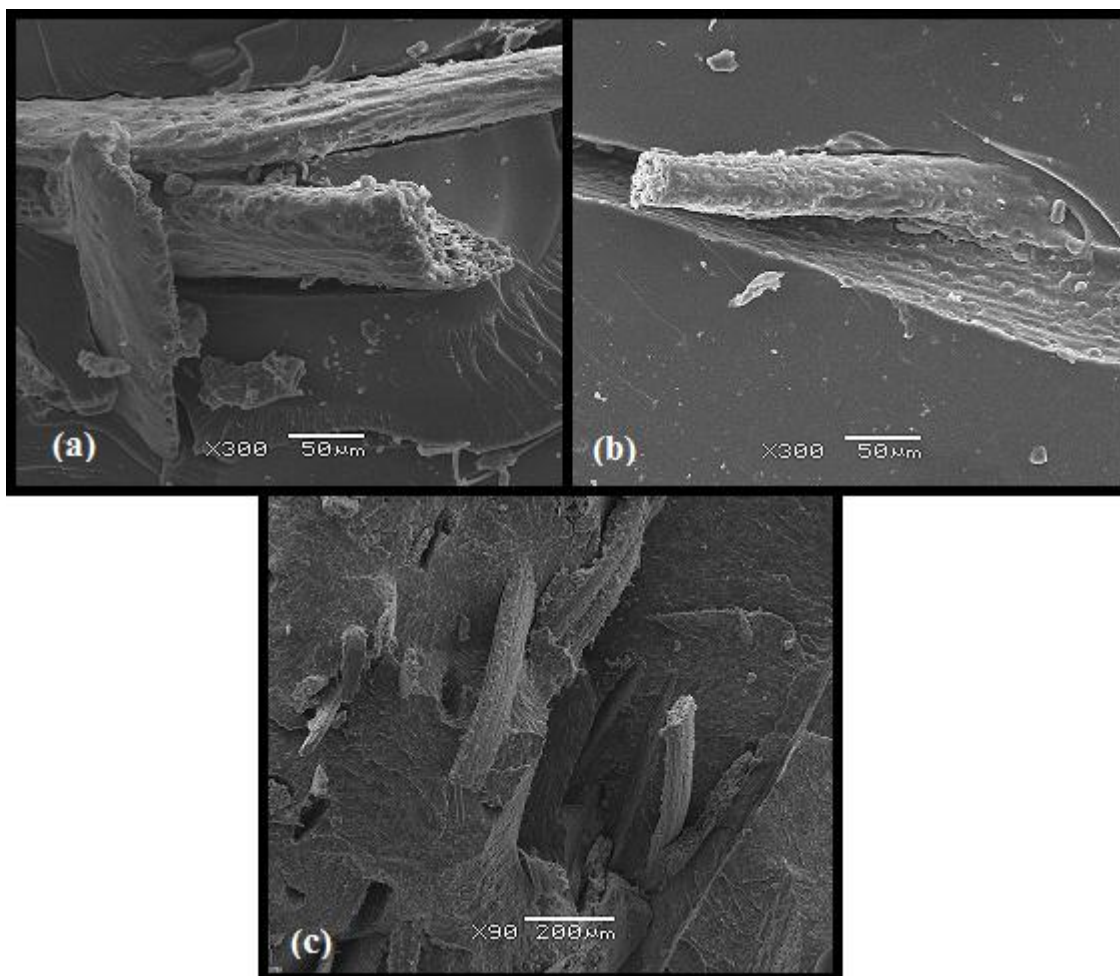


FIGURA 42 – Micrografia dos compósitos (a) RA, (b) RAH e (c) RAHB

É observado na figura 42, micrografias (a), (b) e (c) que representam os compósitos RA, RAH e RAHB. Destacam-se a baixa incorporação das fibras na resina em RA e a incorporação parcial das fibras em RAH e RAHB, mostrando a efetividade de adesão entre a fibra e matriz com o tratamento alcalino. Em (a) e (b) que possuem as imagens mais ampliadas (300 vezes), observam-se os canais de pontuação encontrados em toda área da fibra e as células de parênquima recobrimdo a superfície (MARTINS *et al.*, 2005).



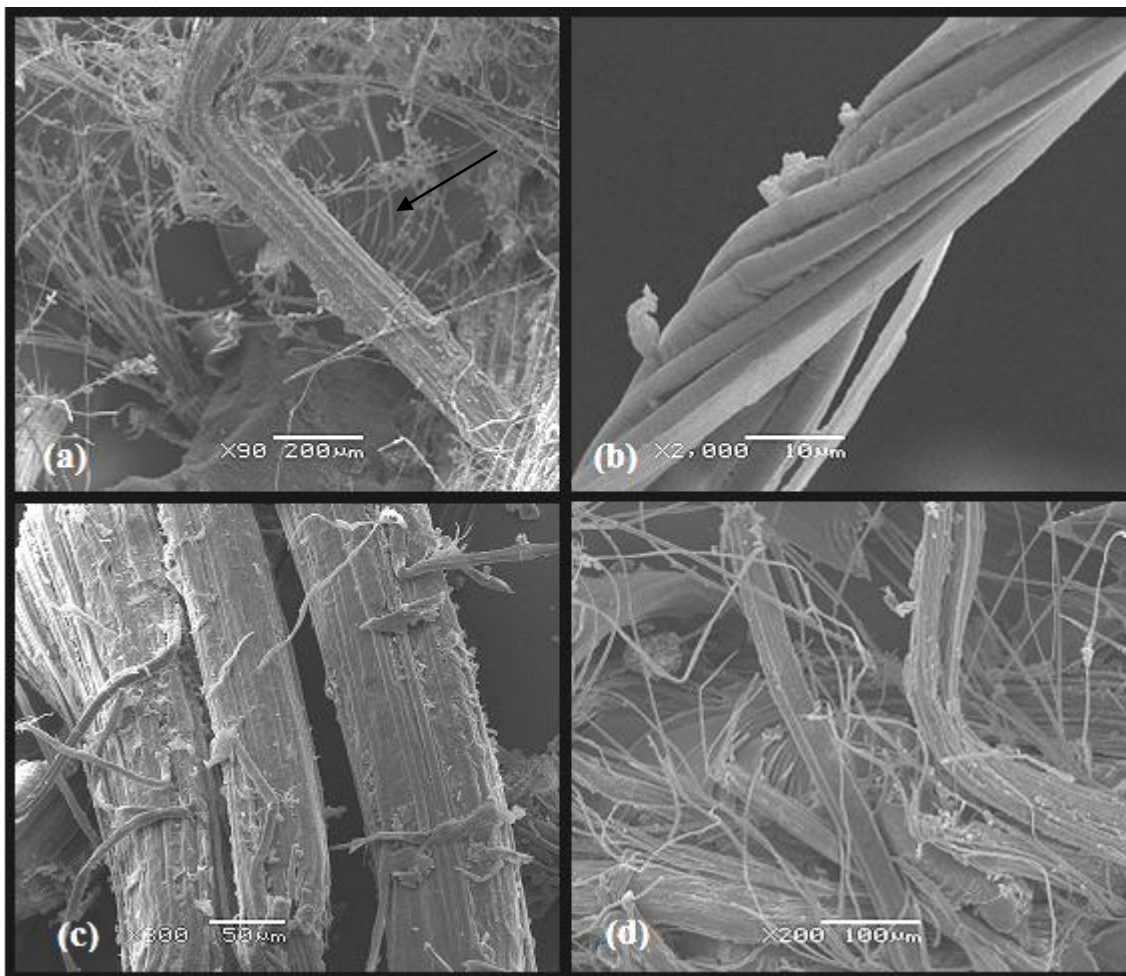


FIGURA 43 – Micrografias dos compósitos (a) e (b) RC, (c) RCH e (d) RCHB

Analisando a figura 43, em (a) e (b) pode-se visualizar a ampliação de 90 e 2000 vezes respectivamente dos compósitos RC, e com esse aumento mais elevado observa-se o feixe de filamentos da fibra. Conforme Monteiro *et al.*, (2006) a fibra de curauá é composta por várias fibrilas, e durante o ensaio mecânico algumas podem ser rompidas enquanto outras permanecem inalteradas, indicando que uma única fibra de curauá contém longas e contínuas fibrilas capazes, por si só, de absorverem esforços da matriz. Os compósitos de curauá com tratamento são mostrados em (c) e (d), onde RCH é mostrado fibras orientadas na forma de feixes na maior parte o que não é observado no RCHB em que as fibras estão dispostas de modo aleatório.

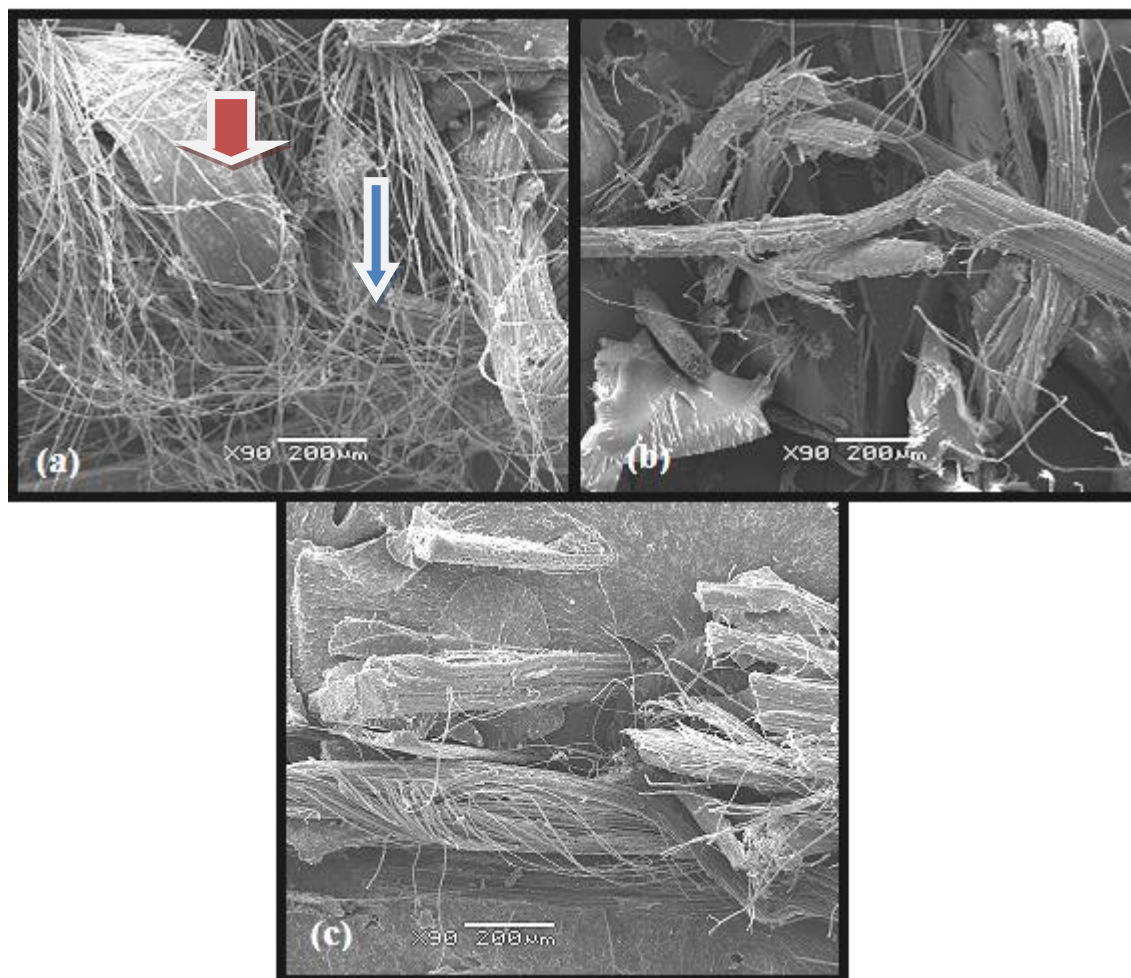


FIGURA 44 – Micrografias dos compósitos (a) RAC, (b) RACH e (c) RACHB

Na figura 44, a micrografia (a) está apresentando o compósito híbrido sem tratamento das fibras de açai e curauá (RAC), e é possível perceber a diferença da forma e diâmetro das duas fibras (flecha vermelha identificando o açai e a azul o curauá). Na sequência em RACH e RACHB representados por (b) e (c), foi constatada a heterogeneidade das fibras no compósito e a baixa adesão das fibras de curauá na matriz.

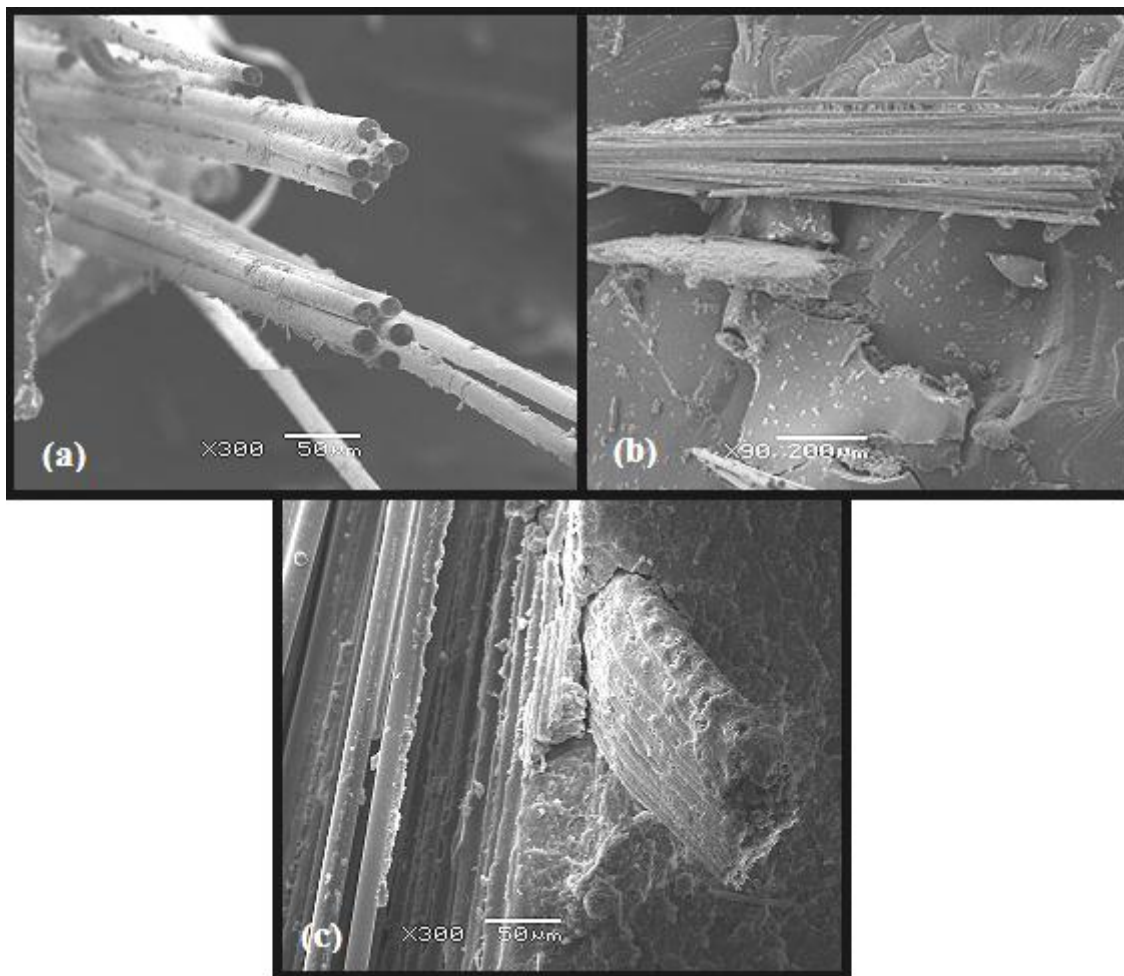


FIGURA 45 – Micrografia dos compósitos (a) RV, (b) RVA e (c) RVAH

A região de fratura de RV está representada em (a) (figura 45) onde as fibras se mostram aderidas à resina, na sequência, os compósitos híbridos de vidro com as fibras de açaí *in natura* e com tratamento alcalino, são apresentados em (b) e (c). No compósito híbrido de vidro e açaí (RVA), são mostradas as fibras orientadas na mesma direção, o que não ocorre em RVAH onde as fibras estão dispostas de forma descontínua e é possível observar a disposição heterogênea.



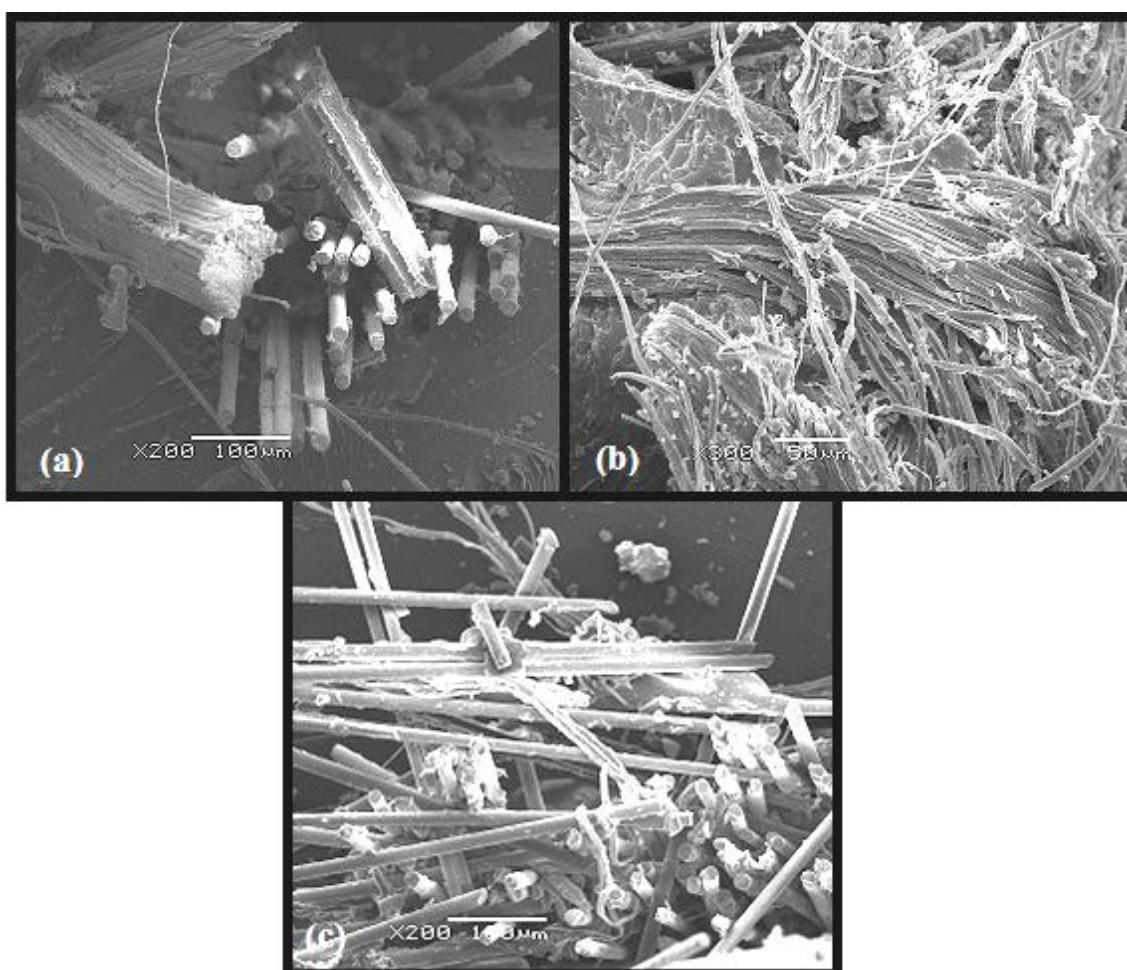


FIGURA 46 – Micrografias dos compósitos (a) RVC, (b) RVCH e (c) RVCHB

Nos compósitos RVC, RVCH e RVCHB (figura 46), a baixa adesão na matriz é destacada assim como a desorientação das fibras. De acordo com Angrizani (2011) tanto em compósitos contendo somente as fibras de curauá como nos híbridos com vidro, é observada uma adesão fraca das fibras de curauá devido ao elevado *pull-out* observado para essas fibras.

#### 4.2.4 Absorção de água

A absorção de água pode influenciar muitas propriedades tais como: estabilidade dimensional, propriedades mecânicas e durabilidade natural e física. Melhor desempenho dos materiais compósitos pode ser alcançado se a absorção de água é limitada (TAJVIDI e TAKEMURA, 2011).

Os resultados do ensaio de absorção de água dos compósitos são apresentados na figura 47 e tabela 12.

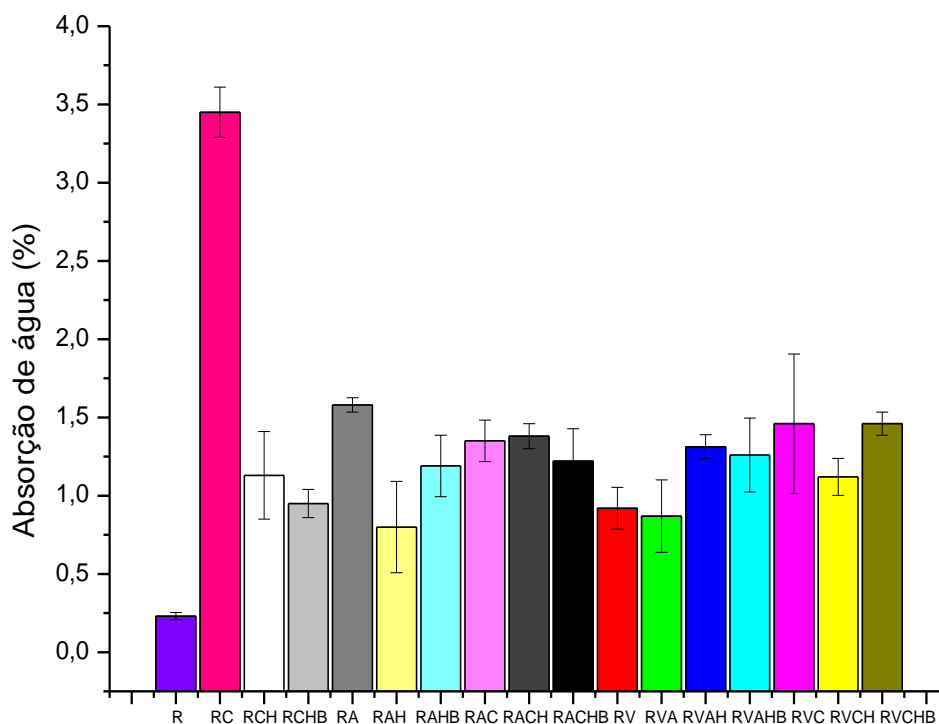


FIGURA 47 - Absorção de água dos compósitos

Conforme averiguado na figura 47 foi constatado que a resina pura (R) apresentou o valor de  $0,23 \pm 0,02$  %, mais baixo do que o encontrado por Sanchez *et al.*, (2010) para a resina poliéster no valor de  $0,4635 \pm 0,0001$  %, que relata que a absorção de água pela resina ser praticamente nula devido seu caráter hidrofóbico, e também menor que o observado em resinas consideradas mais resistentes a ambientes agressivos como a bisfenólica com 0,40 %, a epóxi éster-vinílica (Bisfenol A) com 0,80 % e a epóxi éster-vinílica (Novolaca) com 1,20 % (CARVALHO, 2008).

De acordo com Tita *et al.*, (2002) a introdução de fibras vegetais (bagaço da cana de açúcar *in natura*) em compósitos fenólicos, elevou o percentual de absorção de água em comparação com o termofixo puro. Situação semelhante a este trabalho em que o poliéster puro (R) exibiu o menor valor em comparação com todos os outros compósitos.

TABELA 12 – Dados de absorção de água dos compósitos (%)

Compósitos	Absorção de água (%)
R	$0,23 \pm 0,02$
RA	$1,58 \pm 0,05$
RAH	$0,80 \pm 0,29$
RAHB	$1,19 \pm 0,19$
RC	$3,45 \pm 0,16$
RCH	$1,13 \pm 0,28$
RCHB	$0,95 \pm 0,09$
RAC	$1,35 \pm 0,13$
RACH	$1,38 \pm 0,08$
RACHB	$1,22 \pm 0,21$
RV	$0,92 \pm 0,13$
RVA	$0,87 \pm 0,23$
RVAH	$1,31 \pm 0,08$
RVAHB	$1,26 \pm 0,23$
RVC	$1,46 \pm 0,44$
RVCH	$1,12 \pm 0,12$
RVCHB	$1,46 \pm 0,07$

Dentre os resultados listados na tabela 12 o compósito RC foi o que mais se destacou, em virtude de possuir o valor mais elevado ( $3,45 \pm 0,16$  %) de absorção de água. Esse valor destoado em comparação com os outros compósitos pode ser explicado pelos corpos de prova do RC apresentarem mais bolhas, o que afetou também seu desempenho mecânico nas propriedades obtidas em tração. Em concordância com Santos *et al.*, (2010) *apud* Wang *et al.*, (2006) a absorção de água em compósitos com fibras vegetais ocorre em razão da natureza hidrofílica do reforço, bem como através dos defeitos e maior difusidade da água nos espaços vazios presentes no material.

Contudo, o resultado do RC é aproximado ao encontrado por Silva *et al.*, (2008) no valor de 3,7 % para compósito de fibras contínuas de curauá e matriz poliéster, que afirma que esse valor ainda pode ser considerado reduzido se tratando de compósitos exclusivamente com fibras lignocelulósicas.

Observa-se a efetividade da diminuição de absorção nos tratamentos alcalinos nos compósitos RCH ( $1,13 \pm 0,28$  %) e RCHB ( $0,95 \pm 0,09$  %) em comparação a RC

( $3,45 \pm 0,16$  %) e dos compósitos RAH ( $0,80 \pm 0,29$  %) e RAHB ( $1,19 \pm 0,19$  %) em relação a RA ( $1,58 \pm 0,05$  %). Conforme Sanchez *et al.*, (2010) que mostrou resultados de absorção de água de 10, 57 % em compósito de poliéster/fibras do bagaço da cana de açúcar e 3,35 % no compósito poliéster/ fibras do bagaço da cana de açúcar + 10 % de NaOH, essa diminuição de absorção ocorre porque o tratamento alcalino das fibras aumenta a interação na interface fibra/matriz, ou seja, a adesão e consequentemente, reduz os espaços vazios.

No trabalho de Tagliari *et al.*, (2012) que realizou o ensaio de absorção de água em compósitos de poliéster reforçados com duas e três mantas de juta em processos à seco, com lavagem e lavagem adicionada de tratamento de 2 e 5 % de NaOH das fibras de juta, todos os resultados ficaram com percentual menor que 2,3 % de absorção de água. Com exceção do RC (motivo justificado anteriormente) os compósitos desse trabalho exibiram comportamento similar.

O compósito RV teve  $0,92 \pm 0,13$  % de absorção de água, resultado semelhante ao encontrado nos compósitos poliéster/fibra de vidro de 0,94 % (BARROS, 2006), 0,97 % (SILVA *et al.*, 2008) e 1 % (FONTAN JUNIOR, 2009), que justifica a baixa absorção de água devido à ausência de material vegetal no compósito. Nos compósitos contendo somente fibras vegetais somente o RCH, RCHB, RAH e RAHB se comportaram de modo equivalente ao RV reforçando a importância do tratamento alcalino na melhoria das propriedades desses materiais. Já nos compósitos híbridos com o vidro, obtiveram-se resultados similares ou superiores ao RV. De acordo com Barros (2006) que obteve o resultado de 2,06 % de absorção de água ao incorporar fibras de curauá no compósito poliéster/vidro, a introdução de fibras lignocelulósicas aumenta a capacidade de absorção de água. Outra justificativa é que se a configuração do compósito possuísse as fibras de vidro nas camadas externas, essas atuariam como barreiras de proteção e diminuiria o grau de absorção (SILVA *et al.*, 2008) o que pode não ter ocorrido nesse trabalho já que as fibras se encontravam dispostas de modo aleatório.

#### 4.2.5 Densidade

Os resultados encontrados nos ensaios de densidade dos compósitos podem ser observados na figura 48 e tabela 13.

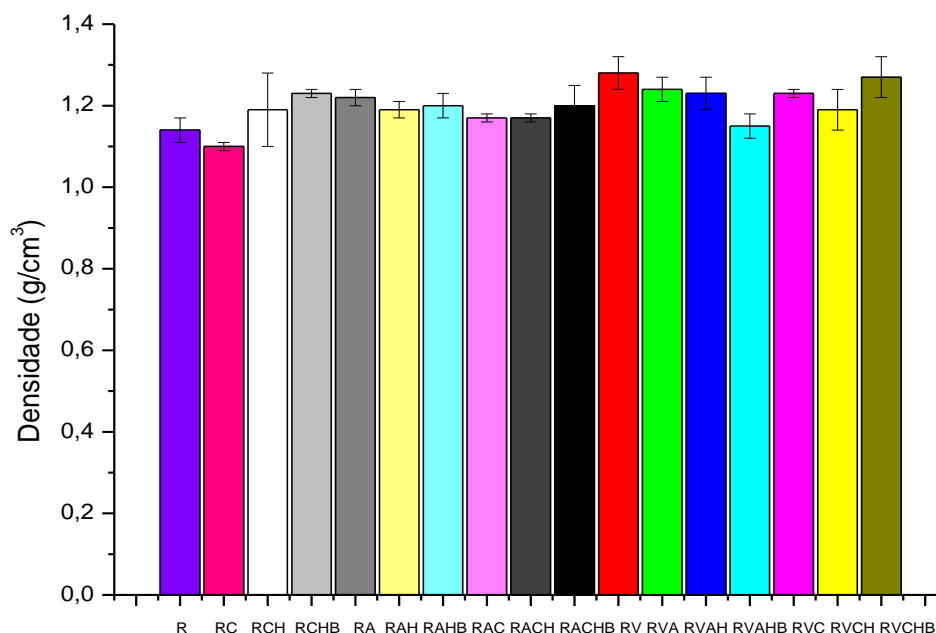


FIGURA 48 - Gráfico de densidade dos compósitos

Pela figura 48 é possível observar que todos os compósitos apresentaram resultados equivalentes ou superiores estatisticamente à resina pura. O valor encontrado em R ( $1,14 \pm 0,03 \text{ g/cm}^3$ ) é semelhante ao  $1,17 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$  apresentado por SANCHEZ *et al.*, (2010).

Destaca-se também um leve aumento na densidade do RCHB ( $1,23 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$ ) em relação ao RC ( $1,10 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$ ), comportamento similar a Sanchez *et al.*, (2010) que obteve as densidades de  $0,92 \pm 0,07$  e  $1,27 \pm 0,08 \text{ g/cm}^3$  para os compósitos de poliéster/ fibras de bagaço de cana de açúcar *in natura* e com 10 % de NaOH respectivamente.

O compósito RC apresentou valor de densidade mais baixo ( $1,10 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$ ) que os encontrados na literatura em compósitos de poliéster/curauá como  $1,18 \text{ g/cm}^3$  (SILVA *et al.*, 2008),  $1,21 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$  (ANGRIZANI, 2011) e  $1,20 \text{ g/cm}^3$  (SILVA, 2010). Vale salientar que assim como no ensaio de densidade aparente realizado para as fibras (resultados no item 4.1.1) os resultados são influenciados pelos espaços vazios e defeitos encontrados no material (GUIMARÃES JUNIOR *et al.*, 2013).



TABELA 13 – Dados de densidade dos compósitos (g/cm<sup>3</sup>)

Compósitos	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
R	1,14 ± 0,03
RA	1,22 ± 0,02
RAH	1,19 ± 0,02
RAHB	1,20 ± 0,03
RC	1,10 ± 0,01
RCH	1,19 ± 0,09
RCHB	1,23 ± 0,01
RAC	1,17 ± 0,01
RACH	1,17 ± 0,01
RACHB	1,20 ± 0,05
RV	1,28 ± 0,04
RVA	1,24 ± 0,03
RVAH	1,23 ± 0,04
RVAHB	1,15 ± 0,03
RVC	1,23 ± 0,01
RVCH	1,19 ± 0,05
RVCHB	1,27 ± 0,05

Em comparação com a densidade encontrada para o RV ( $1,28 \pm 0,04$  g/cm<sup>3</sup>), a introdução de fibras vegetais nos compósitos híbridos não influenciou em mudanças nos valores estatísticos, sendo que, somente o RVAHB apresentou uma redução na densidade ( $1,15 \pm 0,03$  g/cm<sup>3</sup>). Segundo Silva *et al.*, (2008), a incorporação de fibras de curauá no compósito poliéster/vidro fez com que a densidade diminuísse de 1,47 g/cm<sup>3</sup> para 1,39 g/cm<sup>3</sup>, valores superiores ao apresentado nesse trabalho, mas parecido com o observado por Angrizani *et al.*, (2014) de 1,41 g/cm<sup>3</sup> para o compósito poliéster/vidro + curauá.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização física das fibras (densidade e razão de aspecto das fibras) mostraram que apesar de variações com os dados da literatura (situação bastante comum se tratando-se fibras de origem vegetal), os materiais lignocelulósicos estudados são adequadas para a confecção de compósitos mais leves do que os que utilizam a fibra de vidro e possuem considerável potencial de reforço, já que os valores de razão de aspecto (L/D) observados nesse trabalho são superiores à da maioria das fibras lignocelulósicas curtas utilizadas em outros trabalhos de pesquisa.

A caracterização química mostrou que os tratamentos alcalinos realizados com 5 % de NaOH e com adição de 1% de NaBH<sub>4</sub> foram eficientes na redução da composição amorfa (hemicelulose) e aumento da composição cristalina (celulose) nas fibras de açaí e curauá. Esses resultados são evidenciados nos ensaios de espectroscopia na região do infravermelho (FTIR) no qual as bandas referentes à presença de hemicelulose desaparecem nas fibras com tratamentos alcalinos e na análise termogravimétrica (TGA), na qual foi observado o aumento da temperatura de degradação das fibras tratadas em comparação às sem tratamento, indicado a melhoria na estabilidade térmica das fibras.

Tanto na análise termogravimétrica (TGA) como nos ensaios mecânicos (resistência à tração e à flexão) efetuados nos compósitos, foi possível observar resultados inferiores ou equivalentes estatisticamente à resina. Pode ser concluído que as fibras desempenharam uma função de carga nos compósitos e não de reforço. Esses resultados estão associados ao fato dos compósitos terem sido confeccionados com fibras curtas e dispostos aleatoriamente, de modo que, os corpos de provas obtidos não possuíam composição homogênea entre matriz/reforço, além do processo de confecção desses compósitos ser feito em contato com o ar, possibilitando assim a formação de bolhas (vazios), fator que afeta significativamente as propriedades mecânicas dos compósitos.

Entretanto avaliando o comportamento térmico dos compósitos, houve aumento na estabilidade térmica dos compósitos puros de açaí e curauá submetidos aos tratamentos alcalinos em relação aos sem tratamento. Nos compósitos híbridos de açaí e curauá não houve uma melhoria significativa com adição do hidróxido de sódio, sendo

que, com adição do borohidreto de sódio, o compósito apresentou um valor de temperatura de degradação menor que o compósito híbrido *in natura*.

Foi constatado também que as temperaturas de degradação dos compósitos híbridos com fibras de açaí/curauá e de açaí/vidro *in natura* foram superiores à temperatura de degradação do compósito reforçado por fibras de açaí sem tratamento, indicando que a combinação das fibras foi eficaz na melhoria das propriedades térmicas desse compósito. O compósito híbrido com fibras de curauá e vidro não apresentou temperatura de degradação superior a do compósito puro de curauá. Entretanto, os compósitos híbridos de curauá e vidro, submetidos aos tratamentos alcalinos exibiram melhores propriedades térmicas em comparação ao híbrido *in natura*.

Das propriedades mecânicas observadas nos compósitos, foi possível destacar que, apesar das fibras apresentarem comportamento de carga, a maioria dos compósitos que apresentaram equivalência estatística nos resultados com o compósito reforçado apenas com vidro e foram submetidos aos tratamentos alcalinos, sugerem que a remoção da composição amorfa das fibras pelos tratamentos foi eficiente na adesão entre a matriz e o reforço. Além disso, como o teor de celulose das fibras lignocelulósicas aumentou com o tratamento alcalino, o potencial de reforço dessas fibras é maior em relação às fibras não tratadas.

A análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) evidencia a heterogeneidade dos compósitos, destacando-se a diferença atenuada do tamanho das fibras, aleatoriedade, a baixa adesão à resina em alguns casos, assim como a adesão maior das fibras tratadas de açaí em relação às sem tratamento.

A análise de absorção de água mostrou que mesmo os compósitos reforçados com as fibras de açaí e curauá, tiveram um percentual de absorção de água baixo em relação ao encontrado na literatura. O compósito reforçado com curauá sem tratamento foi o que mais se desviou dos resultados dos demais resultados de absorção de água, apresentando um percentual de  $3,45 \pm 0,16$  %, atribuído à presença de bolhas nos corpos de prova. Entretanto, esse valor ainda se encontra dentro do esperado por se tratar de fibras derivadas de origem vegetal. Já os resultados obtidos no ensaio de densidade aparente dos compósitos não apresentaram diferenças muito significativas.

De modo geral, é possível concluir que a utilização das fibras de açaí e curauá tanto em compósitos puros como nos híbridos, é viável por reduzir a quantidade empregada de fibra de vidro. Além, dos tratamentos alcalinos também terem apresentado eficácia na melhoria da adesão superficial dos compósitos.

## **6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS**

- Confeccionar os compósitos utilizando fibras longas e alinhadas utilizando vácuo para evitar a produção de bolhas.
- Preparar compósitos com maior teor de fibras de curauá e menor teor de fibras de vidro para avaliar o efeito sinérgico da utilização da fibra vegetal e consequente redução de peso e custo do material.

## 7 REFERÊNCIAS

- ABMACO. **Compósitos II: Tecnologia de processos**. Ed. ABMACO, 2009.
- ADAMIAN, R. **Novos Materiais: Tecnologias e Aspectos Econômicos**. Escola Politécnica – UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.
- ÁGUA BRANCA ONLINE. Imagem do curauá roxo. Disponível em: <<http://aguabrancaonline.blogspot.com.br/2012/08/a-beleza-e-o-poder-da-bromelia-da.html>> Acesso em: novembro de 2013.
- AGUIAR, A.; FERRAZ, A. Mecanismos Envolvidos na Biodegradação de Materiais Lignocelulósicos e Aplicações Tecnológicas Correlatas. *Química Nova*, v. 34, n. 10, p. 1729 – 1738, 2011.
- ALBINANTE, S. R.; PACHECO, E. B. A. V.; VISCONTE, L. L. Y. Revisão dos Tratamentos Químicos da Fibra Natural para Mistura com Poliolefinas. *Quim. Nova*, v. 36, n. 1, p. 114 – 122, 2013.
- ALEXANDRE, D.; CUNHA, R.L.; HUBINGER, M.D. Conservação do Açaí pela Tecnologia de Obstáculos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 24(1): 114-119, 2004.
- ALMEIDA JÚNIOR, J. H. S.; ORNAGHI JÚNIOR, H. L.; AMICO, S. C.; AMADO, F. D. R. *Study of Hybrid Intralaminar Curaua/Glass Composites*. *Materials and Design, Elsevier*, v. 42, p. 111 – 117, 2012.
- AL-QURESHI, H. A. **Composite Materials: Fabrication and Analysis**. 3º Ed. São José dos Campos, s/ editor, 1984.
- ANDRADE, Silvio. Aplicações de produtos em compósitos -13. Em: **Compósitos I: Materiais, Processos, Aplicações, Desempenhos e tendências**. Ed. ABMACO, 2008.
- ANGRIZANI, C.C. **Compósitos Laminados Híbridos de Curauá/Vidro: Análise mecânica, Experimental e Teórica**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- ANGRIZANI, C. C.; AMICO, S. C.; CIOFFI, O. H.; ZATTERA, A. J. Influência da Espessura nas Propriedades Mecânicas de Compósitos Híbridos Interlaminares de Curauá/Vidro/Poliéster. *Polímeros*, 2014.
- ARANTES, V.; SADDLER, J. N. *Access to Cellulose Limits the Efficiency of Enzymatic Hydrolysis: The Role of Amorphogenesis*. *Biotechnology for Biofuels*, Vancouver, Canada, 2010. Disponível em: <<http://www.biotechnologyforbiofuels.com/content/3/1/4>> Acesso em: fevereiro de 2014.

ARAÚJO, J.R. de. **Compósitos de Polietileno de Alta Densidade Reforçados com Fibra de Curauá obtidos por Extrusão e Injeção**. 2009. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BARCELLOS, I. O.; SOUZA, A. C. de.; SELKE, A. E. Incorporação de Lodo Industrial em Compósitos de Resina Poliéster. **Polímeros**, v. 19, n. 2, p. 155 – 159, 2009.

BARROS, A.R.F.; AQUINO, L.P.S.; RODRIGUES, R.V.S. **Laminados compósitos a base de fibras natural e sintética: efeito de condições ambientais adversas**. In: Anais do 17º CBECIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu, 2006.

BARROS, C. **Apostila de Vidros: Materiais de Construção e Edificações**. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia. Pelotas, 2010. Disponível em: <<http://edificacoes.files.wordpress.com/2011/04/apo-vidros-completa-publicac3a7c3a3o.pdf>> Acesso em: Fevereiro de 2014.

BLEDZKI, A.K.; GASSAN, J. *Composites reinforced with cellulose based fibres*. **Progress in Polymer Science**, v. 24, p. 221-274, 1999.

BRANDÃO, A.A.; RODRIGUES, T.F.; MOREIRA, T.A.S.; RODRIGUES, J.S. **Infusão em Compósitos Híbridos com Manta de Fibra de Vidro e Açai**. In: Anais do 20º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Joinville, 2012.

BRIGIDA, A.I.S.; CALADO, V.M.A.; GONCALVES, L.R.B.; COELHO, M.A.Z. *Effect of Chemical Treatments on Properties of Green Coconut Fiber*. **Carbohydrate Polymers**, v. 79, n. 4, p. 832-838, 2010.

CAMATRA, Paulo. Materiais 1- 2. Em: **Compósitos I: Materiais, Processos, Aplicações, Desempenhos e tendências**. Ed. ABMACO, 2008.

CAMPOS, A.; TEODORO, K.B.R.; MARCONCINI, J. M.; MATTOSO, L.H.C.; MARTINS-FRANCHETTI, S.M. Efeito do tratamento das fibras nas propriedades do biocompósito de amido termoplástico/policaprolactona/sisal. **Polímeros**, v.21, p.217, 2011.

CANDIDO, R.G. **Utilização da Celulose de Resíduos Lignocelulósicos para Obtenção de Produtos de Alto Valor Agregado**. 2011. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Industrial) – Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena.

CAPELLA, M. C.; SOUFEN, C.A.; CORREIA, G.V.; GRIZOLA, O.S.; PINTÃO, C.A.F.; IMAIZUMI, M. **Propriedades Mecânicas em Laminados Fibras de Vidro e Fibra de Carbono em Resina Epóxi**. In: Anais do 20º CBECIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Joinville, 2012.

CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L. *Mechanical Properties of Curaua Fiber Reinforced Polypropylene Composites*. In: MATTOSO, L. H. C.; LEÃO, A. L. e FROLLINI, E. Eds., **Natural Polymers and Composites**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, p. 450-453, 2000.

CARDOSO, P. H. M.; BASTIAN, F. L.; THIRÉ, R. M. S. M. **Produção de Laminados Compósitos de Epóxi/Fibras de Curauá**. In: Anais do 12º CBPol – Congresso Brasileiro de Polímeros, Florianópolis, 2013.

CARVALHO, A. Resinas Aplicadas à Indústria de Celulose e Papel. **O papel**, p.36, 2008.

CARVALHO, A. M.; DANTAS, R. A.; COELHO, M. C.; LIMA, W. M.; SOUZA, J. P. S. P.; FONSECA, O. P.; GUIMARÃES JUNIOR, R. Teores de Hemicelulose, Celulose e Lignina em Plantas de Cobertura com Potencial para Sistema Plantio Direto no Cerrado. **EMBRAPA - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 290**, Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, 2010.

CARVALHO, L. F. M. **Fibras de Palha de Carnaúba: Caracterização Térmica e Aplicações em Compósitos**. 2004. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Piauí, Brasil.

CARVALHO, L. H. de.; CAVALCANTI, W. S. Propriedades Mecânicas de Tração de Compósitos Poliéster/Tecidos Híbridos Sisal/Vidro. **Polímeros**, v. 16, n. 1, p. 33 – 37, 2006.

CARVALHO, W.; CANILHA, L.; FERRAZ, A.; MILAGRES, A. M. F. Uma Visão Sobre a Estrutura, Composição e Biodegradação da Madeira. **Química Nova**, v. 32, n. 8, p. 2191 –2195, 2009.

CASTRO, O. D.; FROLLINI, E.; MARINI, J.; FILHO-RUVOLO, A. Preparação e Caracterização de Biocompósitos Baseados em Fibra de Curauá, Biopolietileno de Alta Densidade (BPEAD) e Polibutadieno Líquido Hidroxilado (PBHL). **Polímeros**, v.23, p.65, 2013.

CEAPAC. Disponível em: < <http://www.ceapac.org.br/>>. Data de acesso: 12 nov 2013.

CORDEIRO, I. M. C. C.; SANTANA, A. C. de.; LAMEIRA, O. A.; SILVA, I. M. *Economical Analysis of Cultivation Systems with Schizolobium parahyba var. amazonicum (Huber ex Ducke) Barneby (Parica) and Ananas comosus var. erectifolius (L.B. Smith) Coppus e Leal (Curaua) crop at Aurora Para, Brazil*. **Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia**, 26 (2), pp. 243 – 265, 2009.

CORRÊA, A.C.; TEIXEIRA, E.M.; MARCONCINI, J.M.; PESSAN, L.A.; MATTOSO, L.H.C. **Nanofibras de Celulose a Partir de Fibras de Curauá**. In: Anais do 10º Congresso Brasileiro de Polímeros. Foz do Iguaçu, 2009.

COSTA<sup>a</sup>, D. S. da.; REIS, E. F. dos.; PEREIRA, L. C. O.; COSTA, D. da. S.; FUJIYAMA, R. T. **Resistência à Tração de Compósitos Poliméricos Híbridos Reforçados com Fibras de Bambu e Pó de Semente de Açaí.** In: Anais do 20º CBECIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Joinville, 2012.

COSTA<sup>b</sup>, D. S. da.; LOURINHO, R. G.; EL BANNA, W. R.; FUJIYAMA, R. T. **Resistência à Tração de Compósitos Poliméricos Reforçados com Híbrido de Fibras de Sisal e Carga de Açaí.** In: Anais do 20º CBECIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Joinville, 2012.

FADDEN, J. M. **A Produção do Açaí a partir do Processamento dos Frutos do Palmeiro (*Euterpe edulis* Martius) na Mata Atlântica.** 2005. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FARINA, M.Z.; SOARES, T.E.; CHILOMER, S.K.; PEZZIN, A.P.; SILVA, D.A.K. Análise da Aplicação de Resíduos do Corte de Palmito Pupunha (*Bactris gasipaes* H.B.K) em Compósitos de Matriz Poliéster com Diferentes Proporções. **REMAP - Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 7. 2, p. 131 – 138, 2012.

FIDELIS, M. E. A.; PEREIRA, T. V. C.; GOMES, O. F. M.; SILVA, F. A.; TOLEDO FILHO, R. D. *The Effect of Fiber Morphology on the Tensile Strength of Natural Fibers.* **Journal of Materials Research and Technology, Elsevier**, 2 (2): 149 – 157, 2013.

FIGUEIREDO, A.F.B. **Produção de Celulose Microcristalina a partir de Pasta de Sulfito Ácido.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade de Aveiro, Portugal.

FONTAN JUNIOR, O. **Aplicação de Tramas de Pupunheira (*Bactris gasipaes*, H.B.K.) em Compósitos Híbridos com Fibra de Vidro em Matriz de Resina Poliéster Insaturado.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade da Região de Joinville, Joinville.

FRANCO, F.J.P. **Aproveitamento da Fibra do Epicarpo do Coco Babaçu em Compósito com Matriz de Epóxi: Estudo do Efeito do Tramento da Fibra.** 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

FROLLINI, E.; RAZERA, I. A. T. *Composites Based on Jute Fibers and Phenolic Matrices: Properties of Fibers and Composites.* **Journal Applied Polymer Science**, v. 91, p. 1077 – 1085, 2004.

FUJJI, T. **J. Jpn. Soc. Comp. Mater**, n.1, v.35, 1975.

GEORG, I. C. **Modelagem e Simulação da Polpação Kraft Antraquinona.** 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.



- GOMES, T. S.; VISCONTE, L. L. Y.; PACHECO, E. B. A. V. Substituição da Fibra de Vidro por Fibra de Bananeira em Compósitos de Polietileno de Alta Densidade. Parte 1. Avaliação Mecânica e Térmica. **Polímeros**, v. 23, n. 2, p. 206 – 211, 2013.
- GOWDA, T. M.; NAIDU, A. C. B.; CHHAYA, R. *Some Mechanical Properties of Untreated Jute Fabric – Reinforced Polyester Composites*. **Composites: Part A – Applied Science and Manufacturing**, 30 (3), p. 277 – 284, 1999.
- GUIMARÃES JUNIOR, M.; NOVACK, K. M.; BOTARO, V. R.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M. Caracterização Físico-Química de Fibras e Polpas de Bambusa Vulgaris Schrad. Para Utilização em Compósitos Poliméricos. **Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales**, v. 33, n. 1, Caracas, junho de 2013.
- GUTIÉRREZ, M. C.; ROSA, P. de. T. V. e.; DE PAOLI, M. A.; FELISBERTI, M. I. Biocompósitos de Acetato de Celulose e Fibras Curtas de Curauá Tratadas com CO<sub>2</sub> Supercrítico. **Polímeros**, v. 22, n. 3, p. 295 – 302, 2012.
- HARADA, J.; WIEBECK, H. **Plásticos de Engenharia: Tecnologia e Aplicações**. São Paulo: Artliber Editora. 2005.
- HILLIG, E. **Viabilidade Técnica de Produção de Compósitos de Polietileno (HDPE) Reforçados com Resíduos de Madeira e Derivados das Indústrias Moveleiras**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- IBGE. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. **IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, v. 24, Brasil, 2009.
- ILLENSEER, R.; PAULILO, M. T. S. Crescimento e Eficiência na Utilização de Nutrientes em Plantas Jovens de *Euterpe Edulis* Mart. sob Dois Níveis de Irradiância, Nitrogênio e Fósforo. **Acta bot. bras.**, 16 (4): 385 – 394, 2002.
- ITO, E.N.; MARCONCINI, J.M.; PESSOA, J.D.C.; RIOS, C.T.; MATTOSO, L.H.; HAGE, E. **Caracterização de Compósitos de Poliolefinas Recicladas com Fibras de Açaí**. In: Anais do 9º Congresso Brasileiro de Polímeros, Campina Grande, 2007.
- JAWAID, M.; KHALIL, H. P. S. A.; BAKAR, A. A.; KHANAM, P. N. *Chemical Resistance, Void Content and Tensile Properties of Oil Palm/Jute Fibre Reinforced Polymer Hybrid Composites*. **Materials and Design**, 32 (2), p. 1014 – 1019, 2011.
- JOSEPH, K.; MEDEIROS, E. S.; CARVALHO, L. H. Compósitos de Matriz Poliéster Reforçados por Fibras Curtas de Sisal. **Polímeros**, 1999.
- KABIR, M. M.; WANG, H.; LAU, K. T.; CARDONA, F. *Chemical Treatments on Plant – Based Natural Fibre Reinforced Polymer Composites: An Overview*. **Composites: Part B**, 2883 – 2892, Elsevier Ltda, Queensland, Australia, 2012.
- KABIR, M. M.; WANG, H.; LAU, K. T.; CARDONA, F. *Effects of Chemical Treatments on Hemp Fibre Structure*. **Applied Surface Science**, Elsevier, v. 276, p. 13-23, 2013.
- KALIA, S.; KAITH, B. S.; KAUR, I. **Polym. Eng. Sci.**, n. 49, p.1253, 2009.

KEMERICH, P. D. da C.; PIOVESAN, M.; BERTOLETTI, L. L.; ALTMAYER, S.; HOHMOVORPAGEL, T. Fibras de Vidro: Caracterização, Disposição Final e Impactos Ambientais Gerados. **REGET – Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 10, n. 10, p. 2112 – 2121, Janeiro/Abril, 2013.

KNNIL, C. J.; KENNEDY, J. F. *Degradation of Cellulose under Alkaline Conditions. Carbohydrate Polymers, Elsevier*, n. 51, p. 281 – 300, 2003.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ, W. A. *Principles of wood science and technology. Solid Wood*, v.1, Springer-Verlag, Nova Iorque, 1984.

LEÃO, A.; FROLLINI, E.; RAZERA, I. A. T.; TRINDADE, W. G. In: Anais do 4º *International Symposium of Polymers and Composites*, P. 507, São Pedro, Brasil, 2002.

LEÃO, A. L.; ROWELL, R.; TAVARES, N. *Applications of Natural Fibres in Automobile Industry in Brazil e Thermoforming Process. In: PRASAD, P. N.; MARK, J. E.; KANDIL, S. H.; KAFAFI, Z. H. editors. Science and Technology of Polymers and Advanced Materials e Emerging Technologies and Business Opportunities, New York e London: Plenum Press; p. 755 – 761, 1998.*

LEÃO, M. A. **Fibras de Licuri: Um Reforço Alternativo de Compósitos Poliméricos.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

LEITÃO, E. da S. **Caracterização Mecânica de Compósitos Poliméricos Bobinados em Diversas Orientações do Reforço.** Dissertação (Mestrado em Ciências de Tecnologia Nuclear – Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – INPE, São Paulo, 2007.

LIMA, B. S.; LENZ, D. M.; VERNEY, J. C. K.; PEREIRA, F. M. Influência da Fibra de Curauá em Compósitos Cimentícios: Verificação da Resistência à Flexão e da Resistência à Compressão. **Revista de Iniciação Científica da ULBRA**, Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, 2011.

LIMA JÚNIOR, U.M. **Fibras da Semente do Açaizeiro (Euterpe Oleracea Mart.): Avaliação Quanto ao Uso como Reforço de Compósitos Fibrocimentícios.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LOPES, W. A.; FASCIO, M. Esquema para Interpretação de Espectros de Substâncias Orgânicas na Região do Infravermelho. **Quim. Nova**, v. 27, n. 4, p – 670 – 673, 2004.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e cultivos de plantas arbóreas do Brasil.** 2ª Ed. São Paulo: Nova Odessa. 2002.

LUZ, J. F.; LENZ, D. M. Compósitos de Polipropileno Virgem e Reprocessado com Fibra de Curauá Obtidos por Injeção. **Revista de Iniciação Científica da ULBRA**, Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, 2011.

MAHATO, D.N.; PRASAD, R.N.; MATHUR, B.K. *Surface Morphological, Band and Lattice Strutural Studies of Cellullosic Fiber Coir under Mercerization by ESCA, IR*

and XRD Techniques. *Indian Journal of Pure & Applied Physics*, v. 47, p. 643-647, 2009.

MAHJOUB, R.; YATIM, J. M.; SAM, A. R. M.; HASHEMI, S. H. *Tensile Properties of Kenaf Fiber due to Various Conditions of Chemical Fiber Surface Modifications. Construction and Building Materials*, n. 55, p. 103 – 113, 2014.

MARANHO, Á.S.; PAIVA, A.V de.; Produção de Mudanças de *Physocalymma scaberrimum* em Substratos Compostos por Diferentes Porcentagens de Resíduo Orgânico de Açaí. *Revista Floresta*, v.42.n.2,p.399-408, 2012.

MARINUCCI, G. **Materiais Compósitos Poliméricos: Fundamentos e Tecnologia**. São Paulo: Artliber Editora, 2011.

MARTINS, M.A.; MATTOSO, L.H.; PESSOA, J.D.C **Compartamento Térmico da Fibra de Açaí**. São Carlos: EMBRAPA, 2005.

MARTINS, M. A.; PESSOA, J. D. C.; GONÇALVES, P. S.; SOUZA, F. I.; MATTOSO, L. H. C. *Thermal and Mechanical Properties of the Açaí Fiber/Natural Rubber Composites. J Mater Sci*, v. 43, p – 6531 – 6538, 2008.

MARTINS, M.A.; MATTOSO, L.H.; PESSOA, J.D.C Comportamento térmico e caracterização morfológica das fibras de mesocarpo e caroço do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) *Revista Brasileira Fruticultura*, v.31.n.4, p.1150-1157, 2009.

MATTOSO, L. H. C.; FERREIRA, F. C.; CURVELO, A. A. S. *Sisal Fiber: Morphology and Applications in Polymer Composites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LIGNOCELLULOSICS-PLASTICS COMPOSITES*, 1, 1996, São Paulo. **Proceedings**. São Paulo, 1996.

MERLINI, C.; AL – QURESHI, H. A.; SALMÓRIA, G. V.; BARRA, G. M. O.; PIRES, E. N. Efeito do Tratamento Alcalino de Fibras de Juta no Comportamento Mecânico de Compósitos de Matriz Epóxi. *Polímeros*, v. 22, n. 4, p. 339 – 344, 2012.

MESCHEDE, D. K.; VELINI, E. D.; CARBONARI, C. A.; TRINDADE, M. L. B.; GOMES, G. L. G. C. Efeitos do *Glyphosate* nos Teores de Lignina, Celulose e Fibra em *Brachiaria decumbens*. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 10, n. 1, p. 57 – 63, janeiro/ abril, 2011.

MIRANDA, C. S.; FIUZA, R. P.; GUIMARÃES, D. H.; CARVALHO, G. G. P.; CARVALHO, R. F.; JOSÉ, N. M. **Tratamento Químico do Resíduo de Piaçava para Aplicação em Compósitos Poliméricos. In: Anais do 19º CBECIMat**, Campos do Jordão, 2010.

MONTEIRO, M. B. O.; PEREIRA, R. P. W.; ABREU, H. S. *Compositional Analysis of the Lignin of Eucalyptus urophylla Treated with JA e 2,4 – D. BBR – Biochemistry and Biotechnology Reports*, DOI 10. 5433/2316 – 5200, v. 1, n. 2, p. 48, 2012.

MONTEIRO, S.N.; AQUINO, R.C.M.P.; LOPES, F.D.P.; CARVALHO, E.A.; D'ALMEIDA, J.R.M. Comportamento Mecânico e Características Estruturais de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras Contínuas e Alinhadas de Curauá. *Matéria*, v.11, p.197, 2006.

MONTEIRO, S. N.; LOPES, F. P. D.; NASCIMENTO, D. C. O.; FERREIRA, A. S.; SATYANARAYANA, K. G. *Processing and Properties of Continuous and Aligned Curaua Fibers Incorporated Polyester Composites*. **Journal of Materials Research and Technology**, Elsevier, 2 (1): 2 – 9, 2013.

MORAES, A.G. **Estudo do Íon Borohidreto como Agente Protetor de Fibras de Sisal no Tratamento em Meio Alcalino**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MOREIRA, A. M. **Materiais de Construção I: Materiais Compósitos**. Departamento de Engenharia Civil, Instituto Politécnico de Tomar. Tomar, Portugal, 2009.

MOREIRA, W. Materiais 1-2. Em: **Compósitos I: Materiais, Processos, Aplicações, Desempenhos e tendências**. ABMACO, 2008.

MOTHÉ, C.G.; ARAUJO, C.R. de. Caracterização Térmica e Mecânica de Compósitos de Poliuretano com Fibras de Curauá. **Polímeros**, v. 14, n. 4, p. 274 – 278, 2004.

NAGAISHI, T. **Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.): Extrativismo, Características, Energia e Renda em uma Comunidade na Ilha de Marajaó/PA**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2007.

NAM, T. H.; OGIHARA, S.; TUNG, N. H.; KOBAYASHI, S. **Comp. Part B**, n.42, p. 1648, 2011.

NASSEH, J. **Barcos – Métodos avançados de construção em composites**. Rio de Janeiro: JORGE NASSEH, 2007.

NETO, A. R. S.; ARAUJO, M. A. M.; SOUZA, F. V. D.; MATTOSO, L. H. C.; MARCONCINI, J. M. *Characterization and comparative evaluation of thermal, structural, chemical, mechanical and morphological properties of six pineapple leaf fiber varieties for use in composites*. **Journal Industrial Crops and Products**, v. 43, p. 529 – 537, 2012.

NETO, F.L.; PARDINI, L.C. **Compósitos estruturais – ciência e tecnologia**. São Paulo: Edgar Blucher,, 2006.

NOGUEIRA, O. L.; CARVALHO, C. J. R.; MÜLLER, C. H.; GALVÃO, E. U. P.; SILVA, H. M.; RODRIGUES, J. E. L. F.; OLIVEIRA, M. S. P.; CARVALHO, J. E. U.; NETO, O. G. R.; NASCIMENTO, W. M. O.; CALZAVARA, B. B. G. *A Cultura do Açaí*. **EMBRAPA- SPI**, Brasília, 1995.

NOGUEIRA, O. L.; FIGUEIRÊDO, F. J. C.; MULLER, A. A. **Açaí. Embrapa Amazônia Oriental – Sistemas de Produção 4**, p. 137, Belém, 2005.

OLIVEIRA, E. L.; LADCHUMANANANDASIVAM, M. E.; ALEXANDRE, de O.; VERÍSSIMO, S. A.; BEZERRA, C. de M.; SOUZA, E. C. de. **Produção e Caracterização das Fibras da Folha do Abacaxi**. In: Anais do 15º COBEQ – Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Curitiba, 2004.

OLIVEIRA, M. S. P.; NETO, J. T. F.; PENA, R. S. **Açaí: Técnicas de Cultivo e Processamento**. In: 7º Flor Pará – Semana da Fruticultura, Floricultura e Agroindústria, Belém, Pará, 2007.

OLIVEIRA, P. F.; MARQUES, M. F. V.; MERAT, L. C. **Estudo de Metodologias de Tratamento Alcalino em Fibras Vegetais de Malva**. In: Anais do 12º CBPol – Congresso Brasileiro de Polímeros, Florianópolis, 2013.

ORNAGHI JUNIOR, H. L.; SILVA, H. S. P.; ZATTERA, A. J.; AMICO, S. C.; *Dynamic Mechanical Properties of Curaua Composites*. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 125, E110 – E116, 2012.

OTA, W.N. **Análise de Compósitos de Polipropileno e Fibras de Vidro Utilizados pela Indústria Automotiva Nacional**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

O IMPACTO. Imagem do curauá branco. Disponível em: <  
<http://www.oimpacto.com.br/destaque/artesanato-tapajonico-exposto-na-vitrine-cultural-da-copa-do-mundo/>> Acesso em: novembro de 2013.

PEIXOTO, E. M. A. Silício. **Química Nova na Escola**, n. 14, Novembro, 2001.

PEREIRA, R. D.; OLIVEIRA, S. R.; SIQUEIRA, G. R.; COSTA, M. S.; ASSIS, T. A. M.; DONNICI, C. L.; SILVA, L. L.; NOGUEIRA, L. J. **Redução de Ésteres Alifáticos por Borohidreto de Sódio em Microondas**. In: Anais do 34º SBQ – Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, Florianópolis, 2011.

PERÓXIDOS. REVISTA **Composites e Plásticos de Engenharia**. **Peróxidos: o que são e como são usados**, 2011.

PESSANHA, M. C. R.; DIAS, D. P.; FILGUEIRA, M.; PARANHOS, R. P. R.; FARIAS, O. L. de. Caracterização de Tubo e Adesivo Utilizado em Tubulações de Plástico Reforçado com Fibras de Vidro Aplicados em Plataformas Marítimas. **Polímeros**, v. 18, n. 1, p. 70 – 75, 2008.

RAMÍREZ, M. G. L. **Caracterização de Biocompósitos de Amido Termoplástico Reforçados com Fibra de Coco Verde**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

RISSON, P.; CARVALHO, G. A.; VIEIRA, S. L.; ZENI, M.; ZATTERA, A. J. Reaproveitamento de Resíduos de Laminados de Fibra de Vidro na Confecção de Placas Reforçadas de Resina Poliéster. **Polímeros**, Julho/Setembro, 1998.

ROGEZ, H. **Açaí: Preparo, Composição e Melhoramento da Conservação**. Belém: EDUFPA, p. 313, 2000.

RORABACHER, D. B. *Statistical Treatment for Rejection of Deviant Values: Critical Values of Dixon's "Q" Parameter and Related Subrange Ratios at the 95% Confidence Level*. **Analytical Chemistry**, v. 63, n. 2, 1991.

S. JUNIOR, F. G. de.; PICCIANI, P. H. S.; ROCHA, E. V. da.; OLIVEIRA, G. E. de. Estudo das Propriedades Mecânicas e Elétricas de Fibras de Curauá Modificada com Polianilina. **Polímeros**, v. 20, n. 5, p. 377 – 382, 2010.

SANCHEZ, E.M.S.; CAVANI, C.S.; LEAL, C.V.; SANCHEZ, C.G. Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana de açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades. **Polímeros**, v.20, p.194, 2010.

SANTOS, A. S. **Estudo da Viabilidade de Aplicação de Fibras da Pupunheira (*Bactris gaspae* H.B.K) como Alternativa à Fibra de Vidro no Desenvolvimento de Produtos**. 2007. Dissertação (Mestrado em Saúde e Meio Ambiente) – Universidade da Região de Joinville, Joinville.

SANTOS, A, S, A.; MACHADO, I. S.; LEÃO, A. L.; RAMOS, A. A. Concentrações de BAP e TDZ na Propagação *In Vitro* de Curauá (*Ananas erectifolius* L. B. Smith). **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, n. 35, julho/dezembro, 2005.

SANTOS, A. W. L. dos.; LIMA, I.V.; SOUZA, I. B.F. de.; FRANCISCO, J.D.; FRANCO, P.A.; OLIVEIRA, P.F. de.; SILVA, S.C.R. da.; VALÉRIO, T.N.; SILVA, A.V. Piso Produzido a partir de Fibras Vegetais. **E- xacta**, Belo Horizonte, v. 4, n. 2 – Edição Especial Interdisciplinaridade. p. 59 – 64. Editora UniBH. 2011.

SANTOS, E. F.; MORESCO, M.; ROSA, S. M. L.; NACHTIGALL, S. M. B. Extrusão de Compósitos de PP com Fibras Curtas de Coco: Efeito da Temperatura e Agentes de Acoplamento. **Polímeros**, v. 20, n. 3, p. 215 – 220, 2010.

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da Palha de Cana de Açúcar para Produção de Etanol. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 1004- 1010, 2012.

SATYANARAYANA, K. *Studies of Lignocellulosic Fibers of Brazil. Part I: Source, Production, Morphology, Properties and Applications*. **Composites: ScienceDirect**, Parte A, 38, p.1694-1709, Curitiba, 2007.

SILAEX. Imagem de poliéster insaturado. Disponível em: <<http://www.silaex.com.br/poli%C3%A9ster.htm>>. Acesso em: 12 maio 2011.

SILVA, C. D. da; FREIRE JÚNIOR, R.C.S; AQUINO, E.M.F. de. **Influência da Presença de Fibras Naturais em Compósitos Híbridos Tipo Sanduíche**. 2004. CONEM. Disponível em: < [http://www.dem.ufrn.br/~freirej/publicacoes\\_pdf/CONEM2004\\_2.pdf](http://www.dem.ufrn.br/~freirej/publicacoes_pdf/CONEM2004_2.pdf)> Acesso em: novembro de 2013.

SILVA, D. J. **Análise de Alimentos: Métodos Químicos e Biológicos**. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1981.

SILVA, H. S. P. da. **Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras de Curauá e Híbridos com Fibras de Vidro**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia

de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, M. C. **Contribuição do Estudo de Compósitos de Espuma Rígida de Poliuretana Reforçada com Resíduo de Celulose.** 2008. Tese (Doutorado em Ciências – Química) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SILVA, R.; HARAGUCHI, S.K.; MUNIZ, E. C.; RUBIRA, A.F.; Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Quim Nova**, v.32, p.661, 2009.

SILVA, R. L.; DE PAOLI, M. A.; SPINACÉ, M. A. S. **Envelhecimento Ambiental de Compósitos de Polipropileno com Fibras de Curauá.** *In: Anais do 12º CBPol – Congresso Brasileiro de Polímeros*, Florianópolis, 2013.

SILVA, R. V.; AQUINO, E. M. F. Curaua fiber: a new alternative to polymeric composites. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, Westport, v. 27, n. 1, p. 103-112. 2008.

SILVA, R. V.; AQUINO, E. M. F.; RODRIGUES, L. P. S.; BARROS, A. R. F. Desenvolvimento de um Compósito Laminado Híbrido com Fibras Natural e Sintética. **Revista Matéria**, v. 13, n. 1, pp. 154 – 161, 2008.

SIQUEIRA, J. E. L. **Utilização de Fibras Naturais e Sintéticas em Argamassas de Revestimento de Alvenaria: Estudo Comparativo de Desempenho.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SPINACÉ, M.; JANEIRO, L.G.; BERNARDINO, F.C.; GROSSI, T.A.; DE PAOLLI, M. Poliefinas Reforçadas com Fibras Vegetais Curtas: Sisal vs. Curauá. **Polímeros**, v.21.n.3,p.168-174, 2011.

SPINACÉ, M. A. S.; JANEIRO, L. G.; BERNARDINO, F. C.; DE PAOLI, M. A. **Caracterização de Fibras de Sisal e Curauá Visando Aplicação em Compósitos Poliméricos.** *In: Anais do 32º SBQ – Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química*, Fortaleza, 2009.

SÓ BIOLOGIA. Imagem da estrutura celular das fibras vegetais. Disponível em: <<http://www.sobiologia.com.br/conteudos/Citologia/cito4.php>> Acesso em: fevereiro de 2014.

TAGLIARI, F; POKORNY, A; BERGMANN, C.P. **Avaliação de Compósitos de Matriz Poliéster com Reforço de Tela de Juta Obtidos pelo Processo de Moldagem Assistida por Vácuo para Utilização na Indústria Automobilística.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2012. Disponível em: <[http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/64764/Poster\\_21260.pdf?sequence=2](http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/64764/Poster_21260.pdf?sequence=2)>

TAJVIDI, M; TAKEMURA, A. *Effects of Reprocessing on the Hygroscopic Behavior of Natural Fiber High-Density Polyethylene Composites*. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 122, p. 1258–1267, 2011.

TITA, S. P. S.; PAIVA, J. M. F. de.; FROLLINI, E. Resistência ao Impacto e Outras Propriedades de Compósitos Lignocelulósicos: Matrizes Termofixas Fenólicas Reforçadas com Fibras de Bagaço de Cana - de - Açúcar. **Polímeros**, v. 12, n. 4, p. 228 – 239, 2002.

TITA, V. **Análise Dinâmica Teórica e Experimental de Vigas Fabricadas a partir de Materiais Compósitos Poliméricos Reforçados**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

TOMCZAK, F. **Estudos Sobre a Estrutura e Propriedades de Fibras de Coco e Curauá do Brasil**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

VALENÇA, P. M. A.; FROTA, C. A. Misturas Areia – Asfalto com Fibra do Açaí e Resíduo da Construção Civil para a Cidade de Manaus. **T e C Amazônia**, Ano 9, n. 21, 2011.

VASCONCELOS, M. A. M.; GALEÃO, R. R.; CARVALHO, A. V.; NASCIMENTO, V. Práticas de Colheita e Manuseio do Açaí. **EMBRAPA- Amazônia Oriental – Documentos 251**, Belém, Pará, dezembro de 2006.

VELOSO, Y. M. S.; SOUZA, I. E. S.; SANTOS, J. V.; LEITE, M. S. Reutilização da Fibra da Casca do Coco Verde para Produção de Matéria Prima Industrial. **Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas**, Sergipe, v. 1, n. 17, p. 91 – 98, outubro de 2013.

VENTURA, A. M. F. M. Os Compósitos e a sua Aplicação na Reabilitação de Estruturas Metálicas. **Ciência e Tecnologia dos Materiais**, v. 21, n. 3/4, 2009.

WANG, W.; SAIN, M.; COOPER, P. A. **Compos. Sci. Tech.**, v. 66, p. 379, 2006.

YAM, P. *Fiber that may not be good for you*. **Chemical Week**, v. 158, n. 36, p. 49, set. 1996.

ZAH, R.; HISCHIER, R.; LEÃO, A. L.; BRAUN, I. *Curaua Fibers in the Automobile Industry – A Sustainability Assessment*. **Science Direct – Journal of Cleaner Production**, v. 15, p. 1032 – 1040, 2007.

ZANUNCIO, A. J. V.; COLODETTE, J. L. Teores de Lignina e Ácidos Urônicos na Madeira e Polpa Celulósica de Eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 35, n. 2, p. 341 – 347, 2011.